



UFMA



UFPI



UFC



UFERSA



UFRN



UFPB



UFPE



UFS



UESC

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
DOUTORADO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE  
ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE**

**CAMILO RAFAEL PEREIRA BRANDÃO**

**CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ NO BAIXO SÃO FRANCISCO  
SERGIPANO: MODELO METODOLÓGICO INTEGRADO DOS  
ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS**

**São Cristóvão/ SE**

**Agosto de 2024**

**CAMILO RAFAEL PEREIRA BRANDÃO**

**CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ NO BAIXO SÃO FRANCISCO  
SERGIPANO: MODELO METODOLÓGICO INTEGRADO DOS  
ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

**Orientador:** Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa

**Coorientadora:** Nathalie Barbosa Reis Monteiro

**Linha de Pesquisa:** Planejamento, gestão e políticas socioambientais

**São Cristóvão/ SE**

**Agosto de 2024**

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE**

B817c Brandão, Camilo Rafael Pereira.  
Cadeia produtiva do arroz no baixo São Francisco sergipano:  
modelo metodológico integrado dos aspectos sociais e ambientais  
/ Camilo Rafael Pereira Brandão; orientador Inajá Francisco de  
Sousa. – São Cristóvão, SE, 2024.  
279 f.; il.

Tese (doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) –  
Universidade Federal de Sergipe, 2024.

1. Meio ambiente - Sergipe. 2. Arroz - Cultivo. 3. Desenvolvimento  
de recursos hídricos. 4. Água - Qualidade. 5. Sustentabilidade. I. São  
Francisco, Rio. II. Sousa, Inajá Francisco de, orient. III. Título.

CDU 502:633.18



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE  
ASSOCIAÇÃO PLENA EM REDE

Ata da 114ª Sessão de Defesa Pública de Tese de  
Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aos 29 dias do mês de agosto do ano de dois mil e vinte e quatro, às oito horas e trinta minutos, realizou-se por meio de videoconferência, através da plataforma Google Meet, a sessão pública de Defesa de Tese de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente de **CAMILO RAFAEL PEREIRA BRANDÃO**, sob o título: *“CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ NO BAIXO SÃO FRANCISCO SERGIPANO: MODELO METODOLOGICO INTEGRADO DOS ASPECTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS”*, presidida pelo Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa. O orientador passou à palavra ao aluno para que procedesse à apresentação da sua defesa. Após a apresentação, o primeiro examinador, Prof. Dr. Breno Barros Telles do Carmo, arguiu o aluno que teve igual período para sua defesa. A palavra foi franqueada ao segundo examinador, Prof. Dr. Danilo de Oliveira Aleixo, para a arguição do aluno, que após as considerações, respondeu aos questionamentos. A terceira examinadora, Profa. Dra. Ana Paula Schervinski Villwock, arguiu o aluno, que teve igual período para sua defesa. Por fim, a quarta examinadora, Profa. Dra. Maria José Nascimento Soares, teceu alguns comentários e apresentou sugestões para a finalização da Tese, sendo, portanto, acatadas pelo aluno. Em seguida, o Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa, agradeceu as contribuições dos membros da banca e convidou os examinadores para consolidação da avaliação final da Tese. A comissão decidiu **APROVAR**, com louvor e recomendação à publicação, desde que sejam atendidas as determinações da banca examinadora e as exigências da resolução nº 4/2021/CONEPE, que regulamenta a apresentação e defesa de Tese de Doutorado. Nada mais havendo a tratar, lavrou-se esta Ata, que será assinada pelos componentes da banca e pelo aluno.

Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos, 29 de agosto de 2024.

Documento assinado digitalmente



INAJA FRANCISCO DE SOUSA  
Data: 31/08/2024 18:38:31-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa**  
Presidente/DEA/PRODEMA-UFS

Documento assinado digitalmente



BRENO BARROS TELLES DO CARMO  
Data: 29/08/2024 16:09:19-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Prof. Dr. Breno B. Telles do Carmo**  
Examinador/UFC

Documento assinado digitalmente



ANA PAULA SCHERVINSKI VILLWOCK  
Data: 30/08/2024 07:59:58-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Profa. Dra. Ana Paula S. Villwock**  
Examinadora/DEA/PRODEMA-UFS

**Prof. Dr. Danilo de Oliveira Aleixo**  
Examinador/UNESC

Documento assinado digitalmente



MARIA JOSÉ NASCIMENTO SOARES  
Data: 30/08/2024 09:00:59-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Profa. Dra. Maria José Nasc. Soares**  
Examinadora/DED/PRODEMA/DDMA-UFS

Documento assinado digitalmente



CAMILO RAFAEL PEREIRA BRANDAO  
Data: 02/09/2024 08:42:49-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**CAMILO RAFAEL PEREIRA BRANDAO**  
Aluno/Doutorando



## CESSÃO DE DIREITOS

É concedido ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) responsável pelo Curso de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente permissão para disponibilizar, reproduzir cópia desta Tese e emprestar ou vender tais cópias.

Camilo Rafael Pereira Brandão

Camilo Rafael Pereira Brandão

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA

Universidade Federal de Sergipe



Inaja Francisco de Sousa

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA

Universidade Federal de Sergipe

Orientador

Este exemplar corresponde à versão final da Tese de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente concluído no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) na Universidade Federal de Sergipe (UFS).



---

Inaja Francisco de Sousa - Orientador

Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA  
Universidade Federal de Sergipe

Dedico aos meus pais pelo incentivo e apoio ao longo da minha  
trajetória acadêmica.

## AGRADECIMENTOS

A jornada foi longa até a chegada deste momento, com desafios antes inimagináveis proporcionados pela pandemia da COVID-19 e perdas ao longo do caminho. Parte do doutoramento foi imersa em distanciamento e cuidados, o que dificultou o compartilhamento de vivências junto aos colegas da turma do doutorado PRODEMA 2020, ao qual agradeço inicialmente pelos momentos em tela compartilhados, tornando este momento intenso um pouco mais leve.

Ao mestre do universo pelo dom da vida, da persistência, da sabedoria e da adaptação para lidar com momentos difíceis dentro e fora da vida acadêmica, na qual cada tijolo aqui colocado ao longo destes quatro anos foram essenciais na minha formação como profissional e principalmente como pessoa.

Ao meu pai, João Bosco, e à minha mãe, Osmira de Sousa, por construírem este sonho junto a mim, pelas palavras de conforto, compreensão e amor, suporte essencial para que hoje eu esteja escrevendo este texto como forma de fechamento em mais uma etapa da minha vida acadêmica e profissional. A minha irmã, Camila Souza, por segurar a barra diversas vezes quando as coisas pareciam não ir muito bem, em que não pude me fazer presente fisicamente, por toda compreensão e carinho, você é a vida da minha vida. A minha avó Verônica (em memória), minha maior saudade, que sempre esteve ao meu lado, me impulsionando com seu amor e dedicação.

A Victor Nogueira pelo companheirismo e paciência testados arduamente nos últimos meses, você foi essencial para o alcance deste sonho. A André Vinícius pela irmandade, na divisão de casa, de histórias e de vida, conhecendo e compartilhando cada momento de loucura, risada e estranhamento, você é um presente em minha vida.

A minha turma da sala 5, em especial a Daniela Rollemberg pelas risadas garantidas, conversas e oportunidades de viagens que ficaram marcadas em minha memória e história. A Talitha Cavalcanti pelo apoio mútuo no desenvolvimento desta pesquisa, pelas conversas, risadas e idas a campo compartilhadas, provando que quando se trata de pesquisa “botamos para lá” mesmo, muito orgulho destes dois trabalhos nascidos. A Gênisson Almeida pela troca de histórias, risadas e brincadeiras, você vai longe! A Alessandra Barbosa pelas tardes de fofocas com café e sem chocolate, você é uma grande amiga. A Robson Andrade pelas palavras de incentivo e companheirismo nas atividades do grupo de pesquisa. Ao meu Grupo de Pesquisa Formação, Interdisciplinar e Meio Ambiente (GPFIMA) pelas discussões que contribuíram para a construção teórica deste trabalho.

Aos meus amigos, Alisson José, Amanda Havany, Kallyne Gabrielle, Sara Freire, Geovan Gomes, Mariana Silva, Welson Deivide, Bruno Sá, Eriane Montalvão, Rafael Almeida, Loraine Lima, Luzeny Lima, Valdirene Lima, Daniel Alves, Leandro Douglas, Caio Passos, Carol Castor, Marlene Ferreira e Jean Lucas, pelos momentos de descontração e atenção, a distância e presencial, vocês são essenciais! Agradecimento especial à Eduarda Cordeiro (em memória), este trabalho carrega um pouco de você e dos nossos sonhos.

A coordenação do PRODEMA por todo o auxílio e direcionamento, em especial a João Cícero Filho, por todo cuidado e momentos de descontração, sempre disposto a ajudar a resolver o que for preciso. A Luzia Thatiany pelas risadas compartilhadas.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa, pela dedicação nas orientações para melhor condução do trabalho, sendo um espelho de profissional íntegro que contribuiu para o meu crescimento profissional e humano. A minha coorientadora, Profa. Dra. Nathalie Barbosa Reis Monteiro, por aceitar contribuir com o trabalho em andamento, sua presença para o sucesso desta pesquisa foi essencial!

Aos professores do PRODEMA UFS, em especial, a Profa. Dra. Maria José Nascimento Soares por sempre impulsionar seus alunos na procura pelas borboletas no caminho, nas indicações de leituras e discussões que contribuíram para meu aprimoramento pessoal, assim como, no entendimento da relação entre ser humano e natureza.

Agradeço aos rizicultores do baixo São Francisco sergipano, participantes da pesquisa, pelo tempo cedido para que este trabalho fosse desenvolvido. Ao proprietário da Usina São João, pelo aceite no desenvolvimento da pesquisa, contribuindo na coleta de dados, em especial à secretária Cris, pelo acolhimento nas idas à agroindústria e no repasse de informações importantes. Ao responsável pela Cooperativa Agropecuária de Ilha das Flores (COORPEFLORES) pelo acolhimento na coleta de dados. A Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) pelos dados fornecidos durante a fase de coleta de dados. Esta pesquisa não seria possível sem o suporte de vocês.

A Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe pelo fomento de bolsa a partir do Edital/SE/FUNTEC N° 2021. A Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas diárias de campo concedidas a partir do Programa de Apoio à Pós-Graduação (PROAP). A Universidade Federal de Sergipe pelos espaços físicos utilizados, assim como a disposição de veículos para ida a campo.

## RESUMO

O crescimento populacional pressiona as cadeias produtivas, aumentando a demanda por produtos e gerando desafios como abastecimento, resíduos e desenvolvimento regional, conforme os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O ODS 2 possui foco na erradicação da fome e na agricultura sustentável, enquanto o ODS 12 promove consumo e produção responsáveis, com metas até 2030. Em Sergipe, o cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) é predominante no baixo São Francisco, com produção de cerca de 57,2 mil toneladas anuais, evidenciando a importância de práticas agrícolas sustentáveis e do beneficiamento do grão. Metodologias como a Pegada Hídrica (PH), Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o Sistema SAFA são importantes no gerenciamento sustentável dos recursos naturais. A PH identifica práticas e medidas para mitigar o consumo hídrico, fundamental em regiões com escassez. A ACV fornece uma visão abrangente dos impactos ambientais ao longo da cadeia produtiva, permitindo decisões que minimizam esses impactos. O Sistema SAFA oferece uma abordagem integrada, ajudando a identificar práticas insustentáveis e áreas para melhoria. Utilizadas em conjunto, estas metodologias auxiliam na promoção da sustentabilidade em propriedades agrícolas, elevando o debate socioambiental. Diante do exposto, o objetivo desta tese foi analisar a sustentabilidade do cultivo de arroz irrigado e seu beneficiamento na região do baixo São Francisco sergipano. A pesquisa abrange os municípios produtores de arroz e a usina de beneficiamento, todos situados na região do baixo São Francisco sergipano. Com abordagem quali-quantitativa, estando a quantificação da PH industrial de acordo com o Manual de Avaliação da PH. A ACV, aplicada nas normas ABNT ISO 14040/2009 e ABNT ISO 14044:2014, e o sistema SAFA, de acordo com a FAO (2013), avaliando as dimensões de governança, integridade ambiental, resiliência econômica e bem-estar social, envolvendo agricultores e órgãos ligados ao desenvolvimento do cultivo de arroz na região. A análise dos resultados indicou que a agroindústria estudada opera conforme as normas e leis vigentes a nível estadual e federal, demonstrando eficiência nos processos do beneficiamento e baixa demanda de água devido à ausência da parboilização do grão na região. Na avaliação dos impactos do ciclo de vida, as categorias mais impactantes foram o potencial de aquecimento global, toxicidade humana e ecotoxicidade de água doce, relacionadas ao consumo elevado de diesel, fertilizantes, herbicidas e agroquímicos utilizados na etapa de cultivo e beneficiamento e juntamente com os indicadores SAFA demonstra-se uma rizicultura insustentável devido suas práticas agrícola e agroindustrial. O desenvolvimento deste trabalho possui relevância, destacando os aspectos sociais e ambientais da produção, sendo o primeiro a integrar as três metodologias, na qual recomenda-se a promoção de uma agricultura mais eficiente e sustentável para a cadeia produtiva do arroz.

Palavras-chave: recursos hídricos; agroindústria; beneficiamento de arroz; indicadores ambientais.

## ABSTRACT

Population growth puts pressure on production chains, increasing demand for products and generating challenges such as supply, waste, and regional development, in line with the Sustainable Development Goals (SDGs). SDG 2 focuses on eradicating hunger and sustainable agriculture, while SDG 12 promotes responsible consumption and production with targets set for 2030. In Sergipe, rice cultivation (*Oryza sativa* L.) is predominant in the lower São Francisco region, with an annual production of approximately 57,200 tons, highlighting the importance of sustainable agricultural practices and grain processing. Methodologies such as Water Footprint (WF), Life Cycle Assessment (LCA), and the SAFA system are essential for the sustainable management of natural resources. The WF identifies practices and measures to mitigate water consumption, crucial in regions facing scarcity. The LCA provides a comprehensive view of environmental impacts throughout the production chain, enabling decisions that minimize these impacts. The SAFA system offers an integrated approach, helping to identify unsustainable practices and areas for improvement. When used together, these methodologies support the promotion of sustainability in agricultural properties, enhancing the socio-environmental debate. Therefore, the objective of this thesis was to analyze the sustainability of irrigated rice cultivation and its processing in the lower São Francisco region of Sergipe. The research encompasses rice-producing municipalities and the processing plant, all located in the lower São Francisco region. A qualitative-quantitative approach was employed, with the quantification of industrial WF according to the WF Assessment Manual. The LCA was conducted following ABNT ISO 14040/2009 and ABNT ISO 14044:2014 standards, and the SAFA system was applied according to FAO (2013), evaluating dimensions of governance, environmental integrity, economic resilience, and social well-being, involving farmers and organizations related to the development of rice cultivation in the region. The analysis of the results indicated that the studied agribusiness operates in accordance with existing state and federal regulations, demonstrating efficiency in processing and low water demand due to the absence of parboiling in the region. In assessing life cycle impacts, the most significant categories were global warming potential, human toxicity, and freshwater ecotoxicity, related to the high consumption of diesel, fertilizers, herbicides, and agrochemicals used in the cultivation and processing stages. Together with the SAFA indicators, this demonstrates unsustainable rice production practices in the agricultural and agribusiness sectors. The development of this work is significant, highlighting the social and environmental aspects of production, being the first to integrate the three methodologies, and recommending the promotion of more efficient and sustainable agriculture for the rice production chain.

Keywords: water resources; agroindustry; rice processing; environmental indicators.

## RESUMEN

El crecimiento poblacional ejerce presiones sobre las cadenas productivas, aumentando la demanda de productos y generando desafíos como el abastecimiento, los residuos y el desarrollo regional, conforme a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). El ODS 2 se centra en la erradicación del hambre y la agricultura sostenible, mientras que el ODS 12 promueve el consumo y la producción responsables, con metas hasta 2030. En Sergipe, el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) es predominante en la región del bajo São Francisco, con una producción de aproximadamente 57,200 toneladas anuales, lo que resalta la importancia de las prácticas agrícolas sostenibles y del beneficiado del grano. Metodologías como la Huella Hídrica (HH), la Evaluación del Ciclo de Vida (ECV) y el Sistema SAFA son importantes en la gestión sostenible de los recursos naturales. La HH identifica prácticas y medidas para mitigar el consumo de agua, fundamental en regiones con escasez. La ECV proporciona una visión integral de los impactos ambientales a lo largo de la cadena productiva, permitiendo decisiones que minimizan estos impactos. El Sistema SAFA ofrece un enfoque integrado, ayudando a identificar prácticas insostenibles y áreas de mejora. Utilizadas en conjunto, estas metodologías ayudan a promover la sostenibilidad en propiedades agrícolas, elevando el debate socioambiental. Dada la exposición, el objetivo de esta tesis fue analizar la sostenibilidad del cultivo de arroz irrigado y su procesamiento en la región del bajo São Francisco sergipano. La investigación abarca los municipios productores de arroz y la planta de procesamiento, todos situados en la región del bajo São Francisco sergipano. Se empleó un enfoque cualitativo-cuantitativo, con la cuantificación de la HH industrial de acuerdo con el Manual de Evaluación de la HH. La ECV se aplicó siguiendo las normas ABNT ISO 14040/2009 y ABNT ISO 14044:2014, y el sistema SAFA se aplicó de acuerdo con la FAO (2013), evaluando las dimensiones de gobernanza, integridad ambiental, resiliencia económica y bienestar social, involucrando a agricultores y organizaciones relacionadas con el desarrollo del cultivo de arroz en la región. El análisis de los resultados indicó que la agroindustria estudiada opera de acuerdo con las normas y leyes vigentes a nivel estatal y federal, demostrando eficiencia en los procesos de beneficiado y baja demanda de agua debido a la ausencia de parbolización del grano en la región. En la evaluación de los impactos del ciclo de vida, las categorías más impactantes fueron el potencial de calentamiento global, la toxicidad humana y la ecotoxicidad del agua dulce, relacionadas con el alto consumo de diésel, fertilizantes, herbicidas y agroquímicos utilizados en las etapas de cultivo y beneficiado. Junto con los indicadores SAFA, esto demuestra una producción de arroz insostenible debido a sus prácticas agrícolas y agroindustriales. El desarrollo de este trabajo tiene relevancia, destacando los aspectos sociales y ambientales de la producción, siendo el primero en integrar las tres metodologías, en el cual se recomienda la promoción de una agricultura más eficiente y sostenible para la cadena productiva del arroz.

Palabras clave: recursos hídricos; agroindustria; procesamiento de arroz; indicadores ambientales.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Projeção do aumento populacional de zonas urbanas (1950-2050).....	35
<b>Figura 2.</b> Distribuição da água doce nas regiões do Brasil.....	38
<b>Figura 3.</b> Classes de enquadramento das águas-doces e seus respectivos usos.....	40
<b>Figura 4.</b> Principais parâmetros de qualidade de água segundo o CONAMA 357.....	41
<b>Figura 5.</b> Proposta de enquadramento final da BHSF por região fisiográfica.....	42
<b>Figura 6.</b> Proporção por região de vazões de água retirada pela indústria.....	43
<b>Figura 7.</b> Tripé da sustentabilidade.....	46
<b>Figura 8.</b> Elementos do triângulo do desenvolvimento sustentável.....	47
<b>Figura 9.</b> Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM).....	48
<b>Figura 10.</b> Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).....	48
<b>Figura 11.</b> Desdobramento do modelo SAFA.....	51
<b>Figura 12.</b> Proposta do modelo holístico SAFA.....	52
<b>Figura 13.</b> Influências da gestão ambiental empresarial.....	54
<b>Figura 14.</b> Modelo de Planejamento Estratégico para Sustentabilidade Empresarial – PEPSE.....	56
<b>Figura 15.</b> Etapas da responsabilidade social empresarial.....	57
<b>Figura 16.</b> Componentes da Pegada Hídrica.....	60
<b>Figura 17.</b> Diagrama de Ciclo de Vida de um produto.....	64
<b>Figura 18.</b> Fases da Avaliação do Ciclo de Vida.....	65
<b>Figura 19.</b> Regiões fisiográficas do São Francisco.....	70
<b>Figura 20.</b> Área, produção e produtividade de arroz no Estado de Sergipe no período de 1974 a 2022.....	74

<b>Figura 21.</b> Esquema representativo dos procedimentos metodológicos.....	77
<b>Figura 22.</b> Localização dos municípios de Neópolis, Propriá e Telha.....	79
<b>Figura 23.</b> Etapas de aplicação das metodologias de acordo com o escopo do estudo.....	79
<b>Figura 24.</b> Fluxograma da produção de arroz no baixo São Francisco.....	84
<b>Figura 25.</b> Categorias de Impactos da AICV CML-IA <i>Baseline</i> .....	93
<b>Figura 26.</b> Capa e contracapa da cartilha com dados da rizicultura no baixo São Francisco e a saúde dos rizicultores locais.....	98
<b>Figura 27.</b> Divisão da área total da Usina.....	101
<b>Figura 28.</b> Local de recebimento das sacas de arroz para beneficiamento.....	103
<b>Figura 29.</b> A) Secador de amostras; B) medidor de umidade .....	105
<b>Figura 31.</b> A) Seleccionador de impurezas; B) Grãos após análise.....	106
<b>Figura 32.</b> Etapas do processamento do arroz até o produto final.....	105
<b>Figura 33.</b> Caldeira utilizada na agroindústria de beneficiamento.....	107
<b>Figura 34.</b> Fluxograma de Beneficiamento de arroz e os resíduos gerados no baixo São Francisco.....	110
<b>Figura 35.</b> Valores mensais da PH <sub>azul</sub> no BSF sergipano.....	112
<b>Figura 36.</b> Valores mensais da PH <sub>cinza</sub> no BSF sergipano.....	113
<b>Figura 37.</b> Comparação entre a PH <sub>azul</sub> e PH <sub>cinza</sub> no BSF sergipano.....	114
<b>Figura 38.</b> Valores mensais da PH <sub>oper</sub> do beneficiamento no BSF sergipano .....	115
<b>Figura 39.</b> Evolução dos trabalhos de ACV para o arroz.....	125
<b>Figura 40.</b> Categorias de impactos ambientais selecionados nos estudos.....	132
<b>Figura 41.</b> Contribuição dos componentes químicos para categoria de acidificação campo na região do BSF sergipano.....	135

<b>Figura 42.</b> Contribuição dos componentes químicos para categoria de eutrofização campo na região do BSF sergipano.....	137
<b>Figura 43.</b> Contribuição dos componentes químicos para categoria de GWP campo na região do BSF sergipano.....	138
<b>Figura 44.</b> Contribuição dos componentes químicos para categoria de DCO campo na região do BSF sergipano.....	141
<b>Figura 45.</b> Contribuição dos componentes químicos para categoria de EAA campo na região do BSF sergipano.....	143
<b>Figura 46.</b> Contribuição dos componentes químicos para categoria de acidificação do beneficiamento na região do BSF sergipano.....	147
<b>Figura 47.</b> Contribuição dos componentes químicos para categoria de eutrofização do beneficiamento na região do BSF sergipano.....	149
<b>Figura 48.</b> Contribuição dos componentes químicos para categoria de EAA do beneficiamento na região do BSF sergipano.....	155
<b>Figura 49.</b> Resultado da análise de incerteza da fase de campo do cultivo do arroz na região BSF sergipano.....	159
<b>Figura 50.</b> Resultado da análise de incerteza da fase de campo do cultivo do arroz na região BSF sergipano.....	160
<b>Figura 51.</b> Gráfico radar do nível de sustentabilidade da rizicultura no BSF.....	162
<b>Figura 52.</b> Comparativo dos indicadores de governança região do BSF sergipano.....	165
<b>Figura 53.</b> Valores comparativo para o indicador de uso da água região do BSF sergipano .....	169
<b>Figura 54.</b> Comporta de distribuição de água na região do BSF sergipano.....	170

<b>Figura 55.</b> Localização das estações de bombeamento no perímetro irrigado Betume do cultivo de arroz na região do BSF sergipano.....	171
<b>Figura 56.</b> Valores comparativos para o indicador de uso da terra na região do BSF sergipano.....	172
<b>Figura 57.</b> Solo hidromórfico saturado em lote agrícola na região do BSF sergipano.....	173
<b>Figura 58.</b> Valores comparativo para o indicador de biodiversidade na região do BSF sergipano.....	174
<b>Figura 59.</b> Cultivo de arroz (a) e tanque de cultivo de camarão (b) na região do BSF sergipano.....	175
<b>Figura 60.</b> Aratu-vermelho no manguezal próximo a tanques de carcinicultura na região do BSF sergipano.....	176
<b>Figura 61.</b> Valores comparativo para o indicador de material e energia na região do BSF sergipano.....	177
<b>Figura 62.</b> Descarte irregular de resíduos na região na região do BSF sergipano. ....	178
<b>Figura 63.</b> Valores comparativo para o indicador de investimento na região do BSF sergipano.....	181
<b>Figura 64.</b> Valores comparativo para o indicador de vulnerabilidade na região do BSF sergipano.....	182
<b>Figura 65.</b> Valores comparativo para o indicador de qualidade e informação de produto na região do BSF sergipano.....	184
<b>Figura 66.</b> Valores comparativo para o indicador de economia local na região do BSF sergipano.....	185
<b>Figura 67.</b> Valores comparativo para o indicador das práticas comerciais na região do BSF sergipano.....	188

<b>Figura 68.</b> Valores comparativo para o indicador das práticas comerciais na região do BSF sergipano.....	190
<b>Figura 69.</b> Valores comparativo para o indicador de equidade na região do BSF sergipano.....	191
<b>Figura 70.</b> Valores comparativo para o indicador de segurança e saúde humana na região do BSF sergipano.....	193
<b>Figura 71.</b> Ambiente interno da cooperativa (a); descarte irregular de resíduos em campo (b) .....	193

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Exemplos de componentes da PH de uma empresa (PHemp).....	62
<b>Tabela 2.</b> Modalidades e variações de arranjos produtivos do cultivo do arroz.....	71
<b>Tabela 3.</b> Lista dos maiores produtores de arroz mundial.....	72
<b>Tabela 4.</b> Principais produtores de arroz em Sergipe.....	75
<b>Tabela 5.</b> Dados utilizados para elaboração da PH do processo.....	80
<b>Tabela 6.</b> Dados necessários para elaboração da PH empresarial.....	81
<b>Tabela 7.</b> Dados necessários para elaboração da PH do produto.....	82
<b>Tabela 8.</b> Inventário do Ciclo de Vida do arroz: fluxos de entrada ( <i>Inputs</i> ) e saídas ( <i>Outputs</i> )..	86
<b>Tabela 9.</b> Indicadores selecionados para avaliação.....	96
<b>Tabela 10.</b> Localização dos estudos de ACV para o cultivo de arroz.....	123
<b>Tabela 11.</b> Principais métodos em estudos de ACV de 2009 a 2024.....	130
<b>Tabela 12.</b> Comparação dos valores entre as categorias para etapa de cultivo do grão na região do BSF sergipano.....	134
<b>Tabela 13.</b> Comparação dos valores entre as categorias para etapa de beneficiamento na região BSF sergipano.....	146
<b>Tabela 14.</b> Componentes químicos e suas contribuições.....	152
<b>Tabela 15.</b> Resultado da análise de incerteza da fase de campo do cultivo do arroz na região BSF sergipano.....	158
<b>Tabela 16.</b> Resultado da análise de incerteza da fase de beneficiamento do arroz na região BSF sergipano.....	160

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Classes de enquadramento das águas subterrâneas.....	40
<b>Quadro 2.</b> Principais softwares utilizados na ACV.....	66
<b>Quadro 3.</b> Base de dados ICV.....	68
<b>Quadro 4.</b> Categorias de análise selecionadas.....	94
<b>Quadro 5.</b> Comparação entre os meses de alta da COVID-19.....	118

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADEMA	Administração Estadual do Meio Ambiente
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
ANA	Agência Nacional de Águas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BDTD	Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações
BSF	Baixo São Francisco
CGG	Comissão sobre Governança Global
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CMMAD	Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
CODESVAF	Companhia De Desenvolvimento Do Vale São Francisco
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DCO	Depleção da Camada de Ozônio
DESO	Companhia de Saneamento de Sergipe
EAA	Ecotoxicidade de Água Doce
ET	Ecotoxicidade Terrestre
ETA	Estação de Tratamento de Água
GEE	Gases de efeito estufa
GWP	Potencial de Aquecimento Global
IBAMA Renováveis	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

INPEV	Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias
ISO	Organização Internacional de Normatização
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
OECD	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PA	Potencial de Acidificação
PE	Potencial de Eutrofização
PEPSE	Planejamento Estratégico para Sustentabilidade Empresarial
PERH	Planos Estaduais de Recursos Hídricos
PH	Pegada Hídrica
PH <sub>empr</sub>	Pegada Hídrica da Empresa
PH <sub>proc</sub>	Pegada Hídrica do Processo
PH <sub>prod</sub>	Pegada Hídrica do Produto
PIB	Produto Interno Bruto
PNDU	Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PNSAN	Política Nacional de Segurança Alimentar
RSE	Responsabilidade social e empresarial
SAFA agricultura	Indicadores de Avaliação da sustentabilidade de sistemas de alimentos e agricultura
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SISAN	Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional

SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
TH	Toxicidade Humana
UF	Unidade Funcional

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>25</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>28</b>
<b>3</b>	<b>CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA</b> .....	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>31</b>
<b>4.1</b>	<b>Relação ser humano-natureza: entre a globalização e a racionalidade ambiental</b> ....	<b>31</b>
<b>4.2</b>	<b>Mercado das águas: os usos multisetoriais dos recursos hídricos</b> .....	<b>34</b>
4.2.1	Demanda e gestão dos recursos hídricos no Brasil .....	34
4.2.2	A importância da qualidade da água .....	38
4.2.3	O uso da água na indústria .....	42
<b>4.3</b>	<b>Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade: um breve histórico</b> .....	<b>44</b>
<b>4.4</b>	<b>Indicadores de sustentabilidade</b> .....	<b>49</b>
<b>4.5</b>	<b>Gestão Ambiental Empresarial</b> .....	<b>53</b>
<b>4.6</b>	<b>Responsabilidade social e empresarial</b> .....	<b>55</b>
<b>4.7</b>	<b>Pegada Hídrica (PH): conceitos e aplicações</b> .....	<b>59</b>
<b>4.8</b>	<b>Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): uma visão geral</b> .....	<b>63</b>
4.8.1	Softwares de ACV .....	66
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>77</b>
<b>6.1</b>	<b>Método e Abordagem da Pesquisa</b> .....	<b>77</b>
<b>6.2</b>	<b>Recorte espacial do estudo</b> .....	<b>78</b>
<b>6.3</b>	<b>Escopo do Estudo</b> .....	<b>79</b>
<b>6.4</b>	<b>Caracterização e quantificação da Pegada Hídrica Industrial</b> .....	<b>80</b>
<b>6.5</b>	<b>Avaliação do ciclo de vida (ACV)</b> .....	<b>82</b>

6.5.5 Aplicação de Indicadores de Avaliação da Sustentabilidade de Sistemas de Alimentos e Agricultura (SAFA).....	95
6.5.6 Cartilha informativa da sustentabilidade da rizicultura no baixo São Francisco através da integração da metodologia PH, ACV e SAFATools .....	97
6.7 Limites da Pesquisa .....	98
6.6 Aspectos éticos e legais da pesquisa .....	99
<b>7 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>101</b>
7.1 Agroindústria do arroz sergipana e sua caracterização .....	101
7.2 Processo produtivo da agroindústria.....	109
7.3 Pegada Hídrica da Usina de Beneficiamento de arroz.....	111
7.4 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	122
8.1 Avaliação dos impactos ambientais do ciclo de vida do arroz (AICV).....	134
8.2 AICV do beneficiamento do arroz .....	145
9. Sistema de Indicadores SAFA FAO aplicado a rizicultura familiar em Sergipe .....	161
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>199</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>226</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>252</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A relação entre o homem e a natureza é determinante quando nos referimos às marcas deixadas ao longo do processo evolutivo da humanidade, nos permitindo observar desde os tempos imemoriais a luta pela sobrevivência, modelando o meio físico e consumindo os recursos naturais. Filósofos e epistemólogos da ciência moderna já subscreveram sobre esta relação. (Schonardie, 2020; Cidreira-Neto; Rodrigues, 2016).

Historicamente, a visão de mundo transforma-se provocando profundas modificações nos princípios ambientais, levando a construção de um novo paradigma através da integração do saber moderno com sistemas ambientais complexos do qual resultou em uma nova racionalidade ambiental (Rodrigues; Nascimento, 2017). A problemática da crise civilizatória originou-se na exploração dos recursos naturais de maneira insustentável, potencializado pela consolidação do fenômeno da globalização no final do século XX (Neto, 2016; Leff, 2006).

Grande parte dos avanços na área ambiental ocorre devido a aplicação da ciência, que estuda e administra as atividades socioeconômicas com o objetivo de promover o uso racional dos recursos naturais, denominada de Gestão Ambiental. Esta área implementa práticas que asseguram a conservação e preservação da biodiversidade, abordando as problemáticas ambientais de forma sistêmica, compreendendo as inter-relações entre os comportamentos sociais, econômicos e ambientais (Barsano; Barbosa, 2014; Rabelo; Lima, 2009).

Com isto, destaca-se a aplicação dos indicadores de sustentabilidade devido a capacidade de informar sobre o processo de uma meta predeterminada, podendo antecipar percepções sobre tendências e fenômenos não identificados de imediato (Hammond, 1995).

Em função do crescimento populacional das últimas décadas, ocorreu paralelamente o aumento na demanda de alimentos e do uso dos recursos hídricos. Embora o planeta terra possua este recurso em abundância, apenas 3% é água doce, deste percentual apenas 0,01% está disponível para consumo em diferentes setores (Tundisi, Tundisi, 2011).

Segundo a UNESCO (2019), mais de 2 bilhões de pessoas vivenciam um alto estresse hídrico em diversos países ao redor do mundo, estando cerca de 4 bilhões em zonas de escassez severa, sem acesso em pelo menos um mês ao ano.

Estresses hídricos afetam regiões ao redor do globo terrestre e a escassez se configura como um problema para o setor agroindustrial. No Brasil, cerca de 23% do PIB interno é correspondente de diferentes setores industriais e para minimizar estes impactos sobre o recurso natural, se faz necessário o empreendedorismo sustentável, partindo da implementação da

gestão ambiental e da ecoeficiência nos processos produtivos, estimulando o uso racional e o reuso da água (Lima, 2018).

Diversas conferências foram realizadas ao longo das décadas, partindo dos numerosos conflitos decorrentes do crescimento econômico insustentável da qual resultaram na formulação de conceitos significativos, a exemplo do desenvolvimento sustentável e da sustentabilidade, como na melhoria da qualidade ambiental (Pereira et al., 2011).

Em concordância com os indicadores ambientais e em busca de melhoria na qualidade ambiental para o desenvolvimento de produtos, foi desenvolvida na década 1960 a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), com o objetivo de avaliar os impactos dos recursos utilizados ao longo do ciclo de vida de um produto, com intuito de aprimorar os processos produtivos e auxiliar na criação de produtos mais sustentáveis (Marzullo & Matai, 2012).

Os usos de ferramentas para gestão sustentável dos recursos hídricos estão alinhados aos objetivos da ACV. Para garantir o acesso a água de boa qualidade em diferentes regiões do mundo, foi proposto em 2002 o conceito de Pegada Hídrica (PH) fundamentado na ideia da água virtual. Este indicador quantifica o uso da água na produção de diferentes itens, permitindo a avaliação da água utilizada nos processos produtivos de diferentes produtos, objetivando determinar o nível de sustentabilidade hídrica, assegurando um consumo seguro limitado ao necessário, sem comprometer a subsistência dos ecossistemas (Hoekstra et al., 2011).

No contexto dos processos agroindustriais, o uso de ferramentas que proporcionem a avaliação dos níveis de sustentabilidade destaca-se pela importância. Em 2013, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) apresentou a ferramenta "*Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems*" (SAFA) para estudos focados na sustentabilidade na agricultura, recomendada amplamente para produtores e empresas envolvidas no setor agroindustrial.

Seu principal objetivo é de avaliar as organizações através dos componentes da cadeia de suprimentos, abrangendo as dimensões ambiental, social, econômica e de governanças através de 116 indicadores mensuráveis. A SAFA estimula a melhorias na gestão, no planejamento e no desenvolvimento de legislações específicas para o tipo de cultura a ser aplicada e analisada (FAO, 2014; -Tortajada, 2014).

A integração da ACV, com a PH e o sistema de indicadores SAFA oferece uma visão abrangente dos desafios enfrentados, identificando os impactos e contribuindo para avaliação de medidas mitigatórias aplicáveis. Este estudo permitiu uma avaliação holística dos impactos socioambientais, econômicos e de governança ao longo de toda cadeia produtiva do cultivo do arroz, contribuindo para uma gestão sustentável dos recursos.

A pertinência social desta pesquisa reside na importância da rizicultura para geração de renda no baixo São Francisco (BSF) sergipano, uma região com grande potencial, mas que necessita de maiores investimentos por parte do governo do Estado e Federal, assim como, garantias para melhores condições de vida para os atores sociais dependentes da rizicultura, e fiscalização na captação dos recursos hídricos locais utilizados na agroindústria. Neste contexto, a adoção da ACV em conjunto com a PH e o sistema SAFA da FAO contribuiu significativamente para a discussão a respeito da sustentabilidade da rizicultura na região, servindo como base para aprofundar o debate sobre alocação sustentável da água na agroindústria em diferentes níveis e de melhorias na qualidade de vida dos rizicultores.

Diante do contexto exposto e dos dados levantados pela Empresa de Desenvolvimento Agropecuário de Sergipe (EMDAGRO), é evidente que o estado de Sergipe possui um perfil significativo na produção de arroz em nível regional, possuindo destaque a nível nacional. Portanto, os questionamentos centrais que norteiam este trabalho de tese são: “Há sustentabilidade ou práticas sustentáveis na cadeia produtiva da rizicultura para a região do baixo São Francisco sergipano?” e “Quais desafios impedem a implementação dessas metodologias em sistemas de produções agroindustriais do arroz?”

Desse modo, é importante ressaltar que a presente tese tem como hipóteses:

- A falta de informações sobre a importância do uso sustentável dos recursos hídricos contribui para uma gestão ineficiente, expondo seus usuários a riscos associados a falta de um gerenciamento eficaz da água que comprometem a produção;
- O uso integrado da Pegada Hídrica e Avaliação de Ciclo de Vida podem fornecer dados para formulação de um plano de gestão ambiental eficiente para implementação de agroindústrias;
- A aplicação do sistema SAFA contribui para a caracterização da atividade, demonstrando a nível socioambiental os erros e acertos do cultivo de arroz.

A pertinência científica desta pesquisa se dá pela integração das três metodologias para avaliar a sustentabilidade do cultivo de arroz e seu beneficiamento no BSF, possibilitando uma análise ampla do objeto de estudo, padronizando e facilitando a replicação para diferentes setores agroindustriais. Esta abordagem integrada também pode relevar novos *insights* sobre a produção agroindustrial do arroz e os impactos ao meio ambiente e sociedade no baixo São Francisco, possibilitando o desenvolvimento de propostas para práticas agrícolas mais sustentáveis.

## 2 OBJETIVOS

Analisar a sustentabilidade do cultivo de arroz irrigado e seu beneficiamento na região do baixo São Francisco sergipano.

### Objetivos específicos:

- Medir a PH do beneficiamento do arroz na rizicultura do baixo São Francisco sergipano.
- Determinar e interpretar o Inventário do Ciclo de Vida arroz beneficiado, do produtor à agroindústria.
- Compreender os impactos ambientais do ciclo de vida do arroz.
- Aplicar e avaliar os indicadores SAFA para a atividade da rizicultura na região BSF.
- Desenvolver uma cartilha informativa com informações relevantes dos resultados da tese para a PH, ACV e SAFA.

Este trabalho se encontra estruturado em três capítulos, além da introdução. No **primeiro capítulo** se encontra a revisão de literatura que fundamentou o desenvolvimento desta tese, abordando a relação entre ser humano e natureza e os impactos da globalização nos recursos naturais, com ênfase nos recursos hídricos. Discute a gestão deste recurso e a crescente demanda por água na produção de alimentos devido ao aumento populacional e conceitua a PH e os usos direto e indireto da água na produção de um produto, abordando a metodologia de ACV, explorando a aplicação de indicadores ambientais utilizando o sistema SAFA na agroindústria, destacando a importância da sustentabilidade e da responsabilidade social e empresarial nos sistemas agroindustriais.

No **segundo capítulo** está apresentado o percurso metodológico, abordando a delimitação da área de estudo, seu escopo e a descrição das três metodologias e suas respectivas técnicas para coleta e análise dos dados encontrados. No **terceiro capítulo** se encontram contextualizados as análises dos resultados encontrados apresentados por meio de gráficos, tabelas e quadros, assim como a discussão de acordo com a literatura específica atualizada para as metodologias aplicadas.

Por fim, nas considerações finais, estão destacadas as principais descobertas da pesquisa de acordo com os objetivos elencados, as referências bibliográficas utilizadas para o embasamento do estudo e, adicionalmente, os apêndices e anexos elaborados para a coleta de dados *in loco* realizada.

### 3 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA

A presente tese aborda uma lacuna científica significativa ao integrar a Análise do Ciclo de Vida (ACV), a Pegada Hídrica (PH) e o sistema SAFA na avaliação dos impactos socioambientais da cadeia produtiva do arroz irrigado em Sergipe, na região do Baixo São Francisco. Apesar da relevância do cultivo de arroz, faltam estudos que considerem esta abordagem integrada, limitando a compreensão dos desafios e oportunidades para a sustentabilidade no setor.

A análise proposta, que abrange desde a fase agrícola até a distribuição do produto, não apenas fornece informações cruciais para a construção de um modelo adaptável a outros *commodities* agrícolas, mas também identifica aspectos positivos e negativos do desenvolvimento da atividade. Assim, esta pesquisa não apenas preenche uma lacuna existente, mas também estabelece um referencial científico inovador para a gestão sustentável dos arrozais e agroindústrias em Sergipe, com potencial de replicação para outros *commodities* importantes na região Nordeste e em todo o Brasil.

**CAPÍTULO I**  
**FUNDAMENTAÇÃO TÉORICA**

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 4.1 Relação ser humano-natureza: entre a globalização e a racionalidade ambiental

A natureza se orienta pelo princípio da homeostase, ou seja, tem capacidade de manter seu meio interno em estabilidade, garantindo a capacidade de dinâmica dos ecossistemas em readaptar seus desvios de equilíbrios mediante aos processos naturais preservadores de sua complexa rede de ciclos biogeoquímicos para a sustentação de vida no planeta (Cavalcanti, 1994).

O debate sobre o conceito de natureza é extenso e perpassa os aspectos filosóficos, religiosos e éticos, pode-se dizer que a natureza real engloba todas as espécies, inclusive o homem que, por sua vez, tem a capacidade de pensar e entendê-la a partir de seu constante processo de transformação (Dulley, 2004).

Para alguns estudiosos, a relação entre o ser humano e a natureza é determinante no que se refere a sua apropriação e suas marcas deixadas ao longo do processo evolutivo humano, permitindo observar a luta pela sobrevivência desde os tempos imemoriais, modelando o meio físico e consumindo os seus recursos naturais na infinita busca por riquezas e bem-estar material (Schonardie, 2020; Cidreira-Neto; Rodrigues, 2017).

O homem atua como intérprete da natureza, que é independente da sociedade humana, sendo autossuficiente e completa em si mesma. Porém, o ser humano exerce seu domínio sobre ela por meio instrumentos mecânicos que regulam e ampliam seus movimentos, além de aguçar seu intelecto (Bacon, 2003).

Morin (1998, p.18) destaca que esta forma de pensamento remonta a Descartes, pensando contra a natureza, acreditando que a missão consiste em dominá-la, subjugá-la e conquistá-la, estando esta perspectiva limitada. Argumenta-se que a natureza é muito mais complexa e interconectada, estabelecendo articulações e comunicações profundas com o antropológico, biológico e físico, transcendendo sua *physis* (Morin, 1977).

Historicamente, a mudança de visão de mundo pelo homem provoca profundas modificações nos princípios ambientais, requerendo a formulação de um saber moderno para a construção de um novo paradigma e de uma nova racionalidade ambiental e, integrando conhecimentos que sejam capazes de entender as dinâmicas de sistemas socioambientais complexos (Rodrigues; Nascimento, 2017).

Em paralelo ao período das Grandes Navegações e Descobertas Marítimas em meados dos séculos XV e XVI, quando o homem europeu estabeleceu relações comerciais e culturais,

iniciou-se segundo historiadores, o processo de globalização, consolidado no final do século XX após a queda do socialismo no leste europeu e na União Soviética (Neto, 2016).

A globalização significa os processos em que os Estados nacionais veem sua soberania e identidade das redes de comunicações. As especificidades deste processo consistem na extensão, densidade e estabilidade recíproca das redes relacionais globais, portanto, a sociedade mundial não é uma mega sociedade nacional, mas sim caracterizada pelo horizonte de multiplicidades (Beck, 1999).

É um termo criado na década de 1980, se tornando um dos elementos mais importantes para a sociedade contemporânea, contribuindo nas transformações científicas e industriais que ocorreram a partir do século XIII (Texeira; Moura; Silva, 2016). Este processo contribui fortemente para a degradação e poluição ambiental devido a integração dos estados-nações por meio do comércio e fluxo de capital, formentando um crescimento gerador de diversas externalidades (Ghosh, 2018).

Segundo Santos (2001), a globalização se divide em três visões de mundo. A primeira é vista como fábula, resultando na ideia de união dos povos que crêem na difusão instantânea de notícias, como se o mundo estivesse ao alcance de todos, caindo por terra quando o culto do consumismo é estimulado, aprofundando a distância entre os povos, causando desigualdade e alienação. O segundo é visto como perversidade, caracterizada pela visão de uma fábrica de perversidades sistêmicas resultando no aumento da pobreza e na perda da qualidade de vida estruturada por cima de comportamentos competitivos. O terceiro baseia-se na visão mais humana, com a mistura dos povos, raças, culturas, gostos e continentes formada pelas bases materiais da perversidade, sendo reformulada pela unicidade de técnicas sociais e políticas que levem em consideração a qualidade de vida.

Partindo destes princípios, a globalização é, de certa forma, o ápice do processo de internacionalização do mundo capitalista (Santos, 2001). Este foi o ponto de partida na sociedade contemporânea para o início da exploração insustentável em larga escala dos recursos naturais e, conseqüentemente, o aumento de conflitos em virtude do progresso da humanidade, culminando na intensificação da pauta de proteção ambiental, trazendo consigo diversos movimentos em prol do meio ambiente (Barros, 2020).

Segundo Newell (2012), uma economia política globalizante fornece contextos onde os desafios da sustentabilidade são elencados para serem enfrentados, estando o destino do planeta intimamente entrelaçado com o desenvolvimento econômico, necessitando da mudança ambiental para criação de novos padrões e melhorar os já existentes.

As práticas insustentáveis ao longo da história evolutiva é um dos maiores problemas enfrentados no atual modelo de sociedade. Leff (2006) discorre sobre as problemáticas ambientais que emerge com uma crise civilizatória desarticuladora do mundo, condizendo com a coisificação do ser e super exploração da natureza, gerada pela hegemonia totalizadora do mundo globalizado.

Tornou-se necessário que a natureza relembresse ao ser humano sua força, ressuscitando assim os medos profundos da humanidade. A crise ambiental, que também é civilizatória, não afeta a todos de maneira uniforme, mas irrompe a oposição entre o simbólico e o “material” representado pela natureza (Ribeiro et al., 2012).

Esta crise é um efeito do conhecimento, seja ele verdadeiro ou falso, sobre o real, a matéria e o mundo. As cosmovisões e as formas de conhecimento desenvolvidas ao longo do tempo tem promovido diversas transformações, desestruturando os ecossistemas por meio da degradação ambiental, causando a desnaturalização da natureza (Leff, 2006).

Neste sentido, a construção de um novo paradigma para uma outra racionalidade ambiental requer a formulação de um saber atual e moderno, integrando o conhecimento e facilitando a capacidade de entendimento das dinâmicas dos sistemas socioambientais complexos (Rodrigues; Nascimento, 2017).

Esta crise ocasionada pela exploração dos recursos naturais, deslocou o foco do campo da reflexão filosófica e da contemplação estética, reintegrando-o ao processo econômico, no qual deixaram de ser meros objetos de trabalho e matéria-prima, transformando-se em potenciais meios de produção, evidenciando a insustentabilidade ecológica da racionalidade econômica (Leff, 2006).

Ainda segundo o autor, as construções de futuros paradigmas devem ser pensadas a partir dos limites das leis da natureza e suas potencialidades ecológicas, possuindo fundamentos nos sentidos sociais da criatividade humana, buscando a minimização dos impactos diretos (Leff, 2012).

O saber ambiental é um destes paradigmas, na qual carrega por si só, o caráter integrador, problematizando o conhecimento fragmentado em disciplinas, administrando setorialmente a construção de teorias e práticas para rearticulação das relações entre sociedade e natureza (Leff, 2012). Morin (1973) também compartilha essa visão ao criticar a maneira como as universidades repassam o conhecimento, no qual, segundo ele o cérebro humano é frequentemente tratado como um quebra-cabeça, onde o saber é produzido para ser capitalizado e não pensado e articulado. Isto destaca a necessidade de comunicação entre as diferentes áreas

do conhecimento, um conceito hoje conhecido como interdisciplinaridade, constituída por uma epistemologia política, auxiliando na busca da sustentabilidade.

Deste modo, este saber emerge de um diálogo entre os saberes de seres diferenciados pela diversidade cultural, orientando para formação de uma sustentabilidade partilhada a partir do conhecimento adquirido (Leff, 2009).

Conforme exposto anteriormente, esta racionalidade ambiental deve ser promovida através do discurso que reivindica e prepara o sujeito para o exercício da cidadania, conscientizando-o sobre a busca pela justiça social e a implementação de gestões integradas (autogestões ou participativas), formatando o desenvolvimento da criatividade inovadora, incluindo a capacidade crítica, características essenciais para a resolução de problemas (Silva, 2016). Segundo Leff (2009), o saber ambiental transforma a perspectiva do conhecimento, alterando as condições do saber no mundo ao estabelecer uma nova relação entre ser, pensar, saber, conhecer e atuar no mundo.

A globalização e os modelos de desenvolvimento insustentáveis afetam diretamente a longevidade dos recursos naturais. A superação de antigos paradigmas ambientais para o surgimento de um novo, baseia-se nas premissas da racionalidade e do saber ambiental introduzido por Leff (2006, 2009 e 2012) em seus estudos, assim como, na complexidade apresentada por Morin (1973), na qual mudam a linha de pensamento da problemática local para global, desenvolvendo técnicas e ferramentas que contribuem na busca da sonhada sustentabilidade ambiental através da interdisciplinaridade dos saberes.

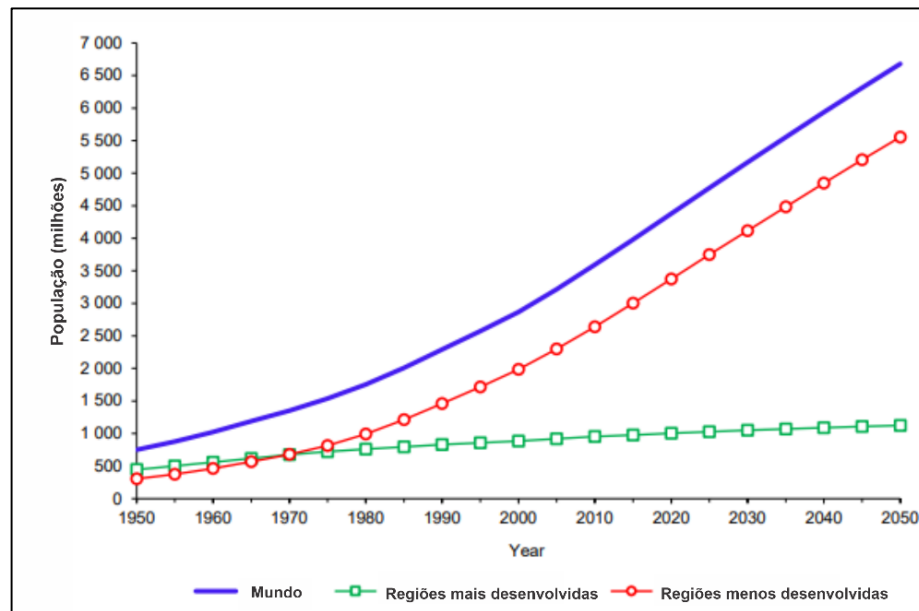
## **4.2 Mercado das águas: os usos multisetoriais dos recursos hídricos**

### **4.2.1 Demanda e gestão dos recursos hídricos no Brasil**

Desde o surgimento da humanidade, o crescimento populacional seguiu em ritmo lento, demorando mais de 200 anos até atingir a marca de 170 milhões de pessoas no início da era cristã (1 a.C.), sendo este valor quadruplicado as vésperas da Revolução Industrial, para cerca de 700 milhões (Zuffo; Zuffo, 2016).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2018), a população mundial deve crescer cerca de 2,5 bilhões de habitantes entre 2018 e 2050 (Figura 1), resultando em um grande contingente populacional nos continentes asiático e africano, com quase 90% deste total. Em paralelo ocorre um grande processo de migração em massa para os grandes centros urbanos, saltando de 55% nos anos 50, para 68% até o ano de 2050.

Figura 1 - Projeção do aumento populacional em zonas urbanas (1950-2050).



Fonte: ONU (2018).

Embora o planeta possua uma grande quantidade d'água em sua cobertura, quando se trata de termos percentuais, 97,5% são águas salgadas encontradas nos mares e oceanos, e apenas 2,5% se encontra disponível em água doce, dividida em calotas polares e geleiras (68,9%), águas subterrâneas (29,9%) e nos rios e lagos (0,3%) (Tundisi; Tundisi, 2011).

Seu consumo se encontra dividido em setores, sendo a agricultura a atividade que mais consome, com cerca de 70% de sua demanda voltada para os projetos de irrigações ao redor do globo terrestre. As indústrias captam 20% e os 10% restantes são destinados para o consumo humano nos pequenos e grandes centros urbanos (Miller Jr, 2014).

Todos os organismos necessitam de água para sua sobrevivência. A espécie humana utiliza este recurso para a realização de diversas atividades. Embora a água seja essencial para o desenvolvimento econômico, o crescimento populacional ocorrido durante o século XX contribuiu significativamente para a exploração e degradação desse recurso (Tundisi, 2020; Tundisi; Tundisi, 2011).

O ritmo acelerado proporcionado pela intensificação dos projetos de urbanização a nível mundial, trouxe consigo o aumento na demanda, assim como, no desperdício e na produção de resíduos sólidos e líquidos em grandes escalas, contaminando as águas superficiais (rios, lagos e represas) e subterrâneas (Tundisi; Tundisi, 2011).

Para Soares (2015), a demanda por água cresceu de forma considerável, porém seu volume não aumentou proporcionalmente, demonstrando numerosas e contínuas transformações naturais, resultando na redução de disponibilidade de água potável. Segundo o

relatório das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos para 2019, vem ocorrendo o aumento da demanda mundial de cerca de 1% por ano desde a década de 1980 e deve continuar aumentando a uma taxa semelhante até 2050, representando assim um aumento de 20% a 30% em relação ao nível atual de uso (UNESCO, 2019).

Assim, ao levar em conta o consumo médio de água em uma cidade industrializada, estima-se cerca de 300 litros por dia por habitante. Com o crescimento populacional exponencial observado no século XXI, tal consumo diário representaria aproximadamente um quarto do total disponível para uso. Em ausência de renovação por meio dos ciclos hidrológicos, esse recurso se esgotaria em um período de quatro dias (Campos; Studart, 2003).

Atualmente, mais de 2 bilhões de pessoas vivem em países que vivenciam um alto estresse hídrico e cerca de 4 bilhões experimentam escassez severa de água durante pelo menos um mês ao ano (UNESCO, 2019). Segundo Rebouças (2006), a distribuição hídrica mundial é desigual e os quatro países mais ricos em água doce segundo suas descargas médias dos rios ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) são: Brasil (197,500  $\text{m}^3/\text{s}$ ), Rússia (128,857  $\text{m}^3/\text{s}$ ), USA (119,365  $\text{m}^3/\text{s}$ ) e Canadá (104,44  $\text{m}^3/\text{s}$ ).

O Brasil apresenta uma situação confortável quando falamos em distribuição hídrica em seus rios, cuja produção representa cerca de 53% (334.000  $\text{m}^3/\text{s}$ ) da produção de água doce do continente sul-americano e 12% (1.488.000  $\text{m}^3/\text{s}$ ) do total mundial, no qual precisa de responsabilidade na gestão deste recurso, visando garantir disponibilidade para gerações futuras (Dias; Silva; Gheyi, 2011).

O país se encontra sob influência de uma grande variedade de processos climatológicos que regulam sua distribuição e disponibilidade da água, apresentando uma desproporção em sua distribuição para a população (Tundisi; Tundisi, 2011).

A gestão é uma atividade crucial para manter o equilíbrio do regime hidrológico e da qualidade das águas. No Brasil, esta gestão esteve inserida durante quase todo o século XX em um modelo de desenvolvimento nacional que priorizava o crescimento econômico, se tornando insustentável devido a subvalorização da dimensão ecológica afetada pelo lançamento de poluentes que causaram problemas em organismos aquáticos e na saúde humana (Junior, 2012; Tundisi, 2020).

Cronologicamente, o primeiro marco normativo ambiental na legislação brasileira foi o Código das Águas de 1934, abordando a proteção da qualidade da água no Brasil, trazendo avanços para a época, abrangendo a aplicação de penalidades e permitindo a expansão do sistema hidroelétrico brasileiro (Porto, 2002; Marques, 2017).

No ano de 1997 foi sancionada a Lei 9.433 conhecida como Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH no qual tem entre seus objetivos equacionar a demanda crescente de água destinada ao crescimento urbano, agrícola e industrial, assim como estabelecer diretrizes para barrar o avanço da degradação dos rios e lagos (Tundisi; Tundisi, 2011).

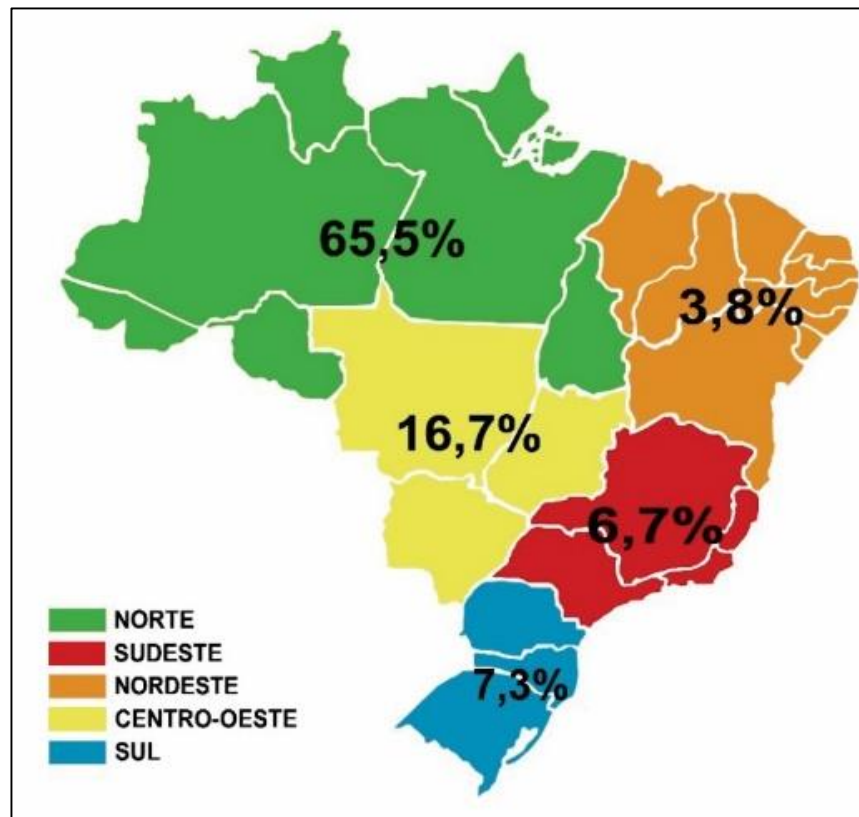
Ainda dentro da PNRH, os instrumentos de gestão foram dispostos no art. 5º, da Lei nº 9.433/97 no qual objetiva incentivar o uso racional das águas e sua preservação. São eles: I – planos de recursos hídricos; II – enquadramento dos corpos de água em classe; III – outorga do direito de uso; IV – cobrança de uso; V – compensação a municípios (vetado na PNRH, porém pode ser aplicado nos Planos Estaduais de Recursos Hídricos – PERH, ou instituído por leis municipais); e por fim, VI – sistema de informações (Zuffo; Zuffo, 2016).

Seguindo a ordem de acontecimentos voltados a evolução da legislação hídrica brasileira, nos anos 2000, foi consolidada uma reforma institucional e criado a partir da Lei 9.984 a Agência Nacional de Águas – ANA no qual é uma entidade federal com a finalidade de implementar a Política Nacional dos Recursos Hídricos - PNRH e coordenar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, tendo entre suas atribuições a outorga dos recursos hídricos de domínio da união e a articulação com os Comitês de Bacias Hidrográficas (Porto, 2002; Ribeiro, 2014).

Para Dias; Silva; Gheyl (2012), o patrimônio hídrico brasileiro é distribuído por localidade, a região Norte concentra a maior parte deste recurso (65%), Centro-Oeste (16,7%), Sul (7,3%), Sudeste (6,7%) e Nordeste (3,8%), onde vive em torno de 85,5% da população total do país conforme a Figura 2 na página a seguir.

O problema do Brasil não está na quantidade de água produzida e recarregada em seus rios e lagos, mas sim no seu gerenciamento e na sua distribuição irregular. A gestão dos Recursos Hídricos e seus desdobramentos possui uma abordagem integrada na gestão d'água, sendo um tema de grande relevância nacional, especialmente para o Nordeste do Brasil devido as suas limitações climáticas (Xavier; Bezerra, 2005).

Figura 2 - Distribuição da água doce nas regiões do Brasil.



Fonte: Adaptado de Dias, Silva e Gheyl, 2012.

Veriato et al., (2015) levantou as perspectivas no uso da água diante a escassez hídrica, na qual resultou em uma projeção no aumento da demanda futura e do consumo real para vários usos múltiplos de 2000 até 2050 destacando-se o uso na irrigação como um dos fatores relevantes nessa expansão e na pressão dos cursos hídricos.

Em diversas regiões, a mudança gradativa do cenário hídrico de abundância para escassez vem exigindo novas práticas da sociedade em todos os setores que possuem este recurso como força motriz para o seu desenvolvimento. No território brasileiro os usos múltiplos dos recursos hídricos são diversificados e sua intensidade está relacionada ao desenvolvimento social, agrícola e industrial (Lima, 2018; Tundisi, 2014).

#### 4.2.2 A importância da qualidade da água

A utilização da água na sociedade humana atende as necessidades pessoais, econômicas e sociais. Porém, a diversificação no uso da água quando realizada de maneira inadequada, acaba provocando alterações em sua qualidade e comprometendo os recursos hídricos e seus múltiplos usos (Souza et al., 2014).

Acredita-se que o primeiro conceito de qualidade de água é datado do início da civilização humana. Já conceitos mais modernos datam de 1700 com a junção dos conhecimentos da microbiologia, química e física, compreendendo melhor sobre a contaminação da água potável. No ano 1900 o tratamento ampliou seu foco além do estético, abrangendo também os patógenos (Li; Migliaccio, 2010).

Segundo Von Sperling (1996), esta qualidade depende do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica, possuindo fatores em condições naturais e por interferência do homem. Qualidade da água é um termo usado para descrever as características químicas, físicas e biológicas e como estes atributos afetam a adequação da água para consumo humano (beber, irrigação, uso industrial) e saúde do ecossistema (Li; Migliaccio, 2010).












As principais características podem ser expressas como: físicas (impurezas focadas do ponto de vista físico) e estão associados em sua maior parte aos sólidos presentes na água; químicas (matéria orgânica ou inorgânica) e biológicas (seres presentes na água que podem ser vivos ou mortos) e representadas por diversos parâmetros, como por exemplo: cor, turbidez, pH, matéria orgânica e etc (Von Sperling, 1996).

O Brasil adotou a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da PNRH e dentre seus objetivos se encontra a necessidade de assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados a seus respectivos usos (Wolkmer; Pimmel, 2013).

Com a implementação da PNRH, foi definido o enquadramento dos corpos d'água e de forma complementar, a Resolução nº 357/05 do CONAMA (Figura 3), na próxima página, em 13 de março de 2005 e complementada pela Resolução nº 430 de maio de 2013 no qual tem sido utilizada para subsidiar a aplicação deste instrumento, classificando os corpos d'água superficiais segundo os usos e estabelecendo padrões para os lançamentos de efluentes (Callente et al., 2020; Santos; Cunha, 2013).

A classe do enquadramento de um corpo d'água deve ser definida em um pacto acordado entre a sociedade, levando em consideração as suas prioridades de uso e deve ocorrer dentro do SINGREH (ANA, 2007).

Figura 3 - Classes de enquadramento dos corpos d'água águas-doces e seus respectivos usos.

USOS DAS ÁGUAS DOÇES	CLASSES DE ENQUADRAMENTO				
	ESPECIAL	1	2	3	4
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas 	Classe mandatória em Unidades de Conservação de Proteção Integral				
Proteção das comunidades aquáticas 		Classe mandatória em Terras Indígenas			
Recreação de contato primário 					
Aquicultura 					
Abastecimento para consumo humano 	Após desinfecção	Após tratamento simplificado	Após tratamento convencional	Após tratamento convencional ou avançado	
Recreação de contato secundário 					
Pesca 					
Irrigação 		Hortalças consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película	Hortalças, frutíferas, parques, jardins, campos de esporte e lazer,	Culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras	
Dessedentação de animais 					
Navegação 					
Harmonia paisagística 					

Observação: As águas de melhor qualidade podem ser aproveitadas em uso menos exigente, desde que este não prejudique a qualidade da água.

Fonte: ANA, 2019.

As águas subterrâneas também podem ser enquadradas em diferentes classes de qualidade segundo a Resolução CONAMA N° 396/2008, sendo estas descritas no quadro 1 a seguir (ANA, 2013).

Quadro 1 - Classes de enquadramento das águas subterrâneas.

<b>Classe Especial:</b>	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial;
<b>Classe 1:</b>	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeológicas naturais;
<b>Classe 2:</b>	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeológicas naturais;
<b>Classe 3:</b>	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso

	preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais;
<b>Classe 4:</b>	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo; e
<b>Classe 5:</b>	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso

Fonte: ANA, 2013.

Os parâmetros de qualidade são definidos de acordo com os limites aceitáveis das substâncias presentes de acordo com o uso da água nas resoluções do CONAMA nº 357/2005 apresentados na Figura 4 a seguir.

Figura 4 – Principais parâmetros de qualidade d'água segundo o CONAMA 357.

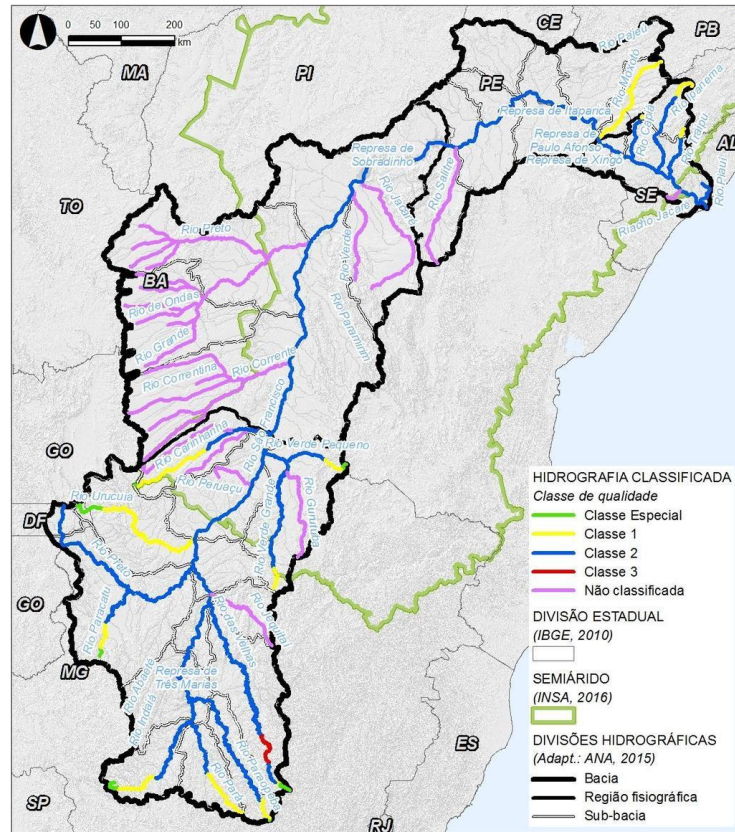
PARÂMETROS	Unidade	CLASSES				
		Especial	1	2	3	4
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Devem ser mantidas as condições naturais do corpo de água.	> 6	> 5	> 4	> 2
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/L		≤3	≤5	≤10	-
Turbidez	UNT		≤40	≤100	≤100	-
pH	-		6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9

Fonte: ANA, 2009.

É possível perceber que quanto maior a classe de enquadramento, menor é a restrição dos valores definidos em cada parâmetro e para as águas de classe especial deverão ser mantidas a condições naturais do corpo de água, não sendo admitido nenhum tipo de lançamento de efluentes ainda que passado por etapas de tratamento (ANA, 2013).

Para os cursos d'água da Bacia Hidrográfica do São Francisco - BHSF, segundo a Portaria Nº 715 de 20 de setembro de 1989, proposta pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o enquadramento e nível de qualidade de água do rio e seus tributários se dão nas seguintes classes demonstrada na Figura 5 a seguir.

Figura 5 - Proposta de enquadramento final da Bacia Hidrográfica do São Francisco por região fisiográfica



Fonte: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 2016.

#### 4.2.3 O uso da água na indústria

O aumento da população mundial implica no aumento da produção de consumo de alimentos e a competição intensa por áreas favoráveis ao desenvolvimento da agricultura, implicando no aumento do consumo de água e energia para atender diferentes demandas mundiais (Tundisi, 2014).

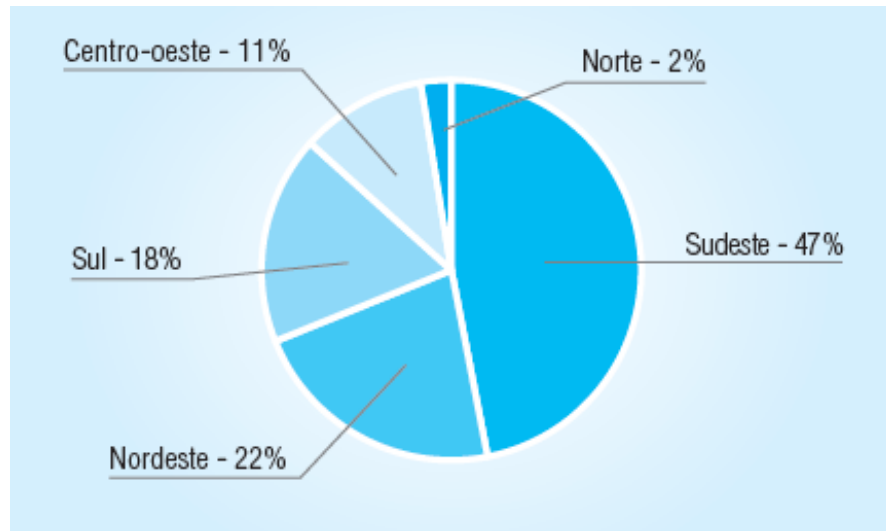
Lima (2018) descreve que, apenas em 2015, o setor industrial foi responsável pela geração de cerca de 1,3 trilhão de reais em divisa, no qual corresponde a cerca de 23% do PIB (produto interno bruto) e gerou cerca de 10 milhões empregos com contribuição de 40% nas exportações realizadas neste ano. Em 2012 o setor respondia por 17% da vazão retirada total e a 7% da consumida (ANA, 2016).

A água na indústria tem uso como matéria prima ou uso auxiliar e os setores industriais utilizam um grande volume de água no qual geram potenciais efluentes poluentes oriundos de cervejarias, têxteis, ferro, laticínios, álcool e etc (Tundisi, 2014).

Em todo território brasileiro estas atividades se concentram na região Sudeste, seguidas pelo Nordeste, Sul, Centro-Oeste e Norte. Conseqüentemente, a proporção de vazão retirada

para indústria (Figura 6) a seguir, segue o mesmo formato, sendo que a maior demanda é nas regiões hidrográficas do Paraná, Atlântico Sudeste e Leste (ANA, 2017).

Figura 6 - Proporção por região de vazões de água retirada pela indústria brasileira.



Fonte: ANA (2017).

Portanto, a demanda de água nas indústrias é um reflexo do tipo de produto ou serviço produzido e seus processos associados a má gestão no âmbito empresarial também eleva os riscos de não atendimento às normas legais que comprometem a imagem da organização (Lima, 2018).

Neste setor, o empreendedorismo sustentável é almejado e depende do nível em que for efetuada a conservação dos recursos naturais, em especial os recursos hídricos por meio da implementação de conceitos de gestão ambiental, ecoeficiência no processo produtivo e aplicação de práticas de produção limpa (Hespanhol, 2005).

Os estímulos ao uso racional, reuso e investimentos para adoção de tecnologias mais eficientes do uso da água são iniciativas pontuais que necessitam de ampliação. É importante também que sejam estabelecidos planos de contingência para possíveis eventos extremos como por exemplo a seca prolongada (ANA, 2016).

Dentre as práticas de uso racional se encontra o reuso de efluentes, podendo ser utilizado sem nenhum tipo de processo de tratamento ou tratado no qual o mesmo retorna após ter passado, por no mínimo, um tratamento físico-químico ou biológico e a depender do tipo de indústria, por um tratamento avançado (Mierzwa; Hespanhol, 2005). Esta prática permite melhorar a produtividade industrial e reduzir o consumo dos recursos hídricos, estimulando os setores industriais com um alto consumo de água a desenvolver este tipo de ação (Santos; Vieira., 2020).

### 4.3 Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade: um breve histórico

Nas últimas décadas, o desenvolvimento da humanidade vem contribuindo no processo de mudanças climáticas, desastres naturais, guerras políticas e instabilidade socioeconômica. Estas ações vêm impactando negativamente o meio ambiente e coloca em risco a sobrevivência de futuras gerações. (Klarin, 2018).

Os conflitos causados entre o crescimento econômico e a qualidade ambiental entraram em evidência com o nascimento de movimentos ambientalistas nas décadas de 60 e 70, a partir deste momento os conceitos de “Desenvolvimento Sustentável” e “Sustentabilidade” foram sendo formulados, sendo amplamente conhecidos por se complementarem (Paul, 2008).

O primeiro marco ambiental foi a Conferência sobre a Biosfera que ocorreu em Paris no ano de 1968 no qual deu origem ao *Man and the Biosphere (MaB)* ou Programa Homem e Biosfera em português. Este programa ampliou os conhecimentos sobre a relação homem e meio ambiente e objetivou difundir as boas práticas para o uso dos recursos ambientais. (Barbieri; Silva, 2011).

Alertas sobre o uso dos recursos naturais são recorrentes, na década de 70 um grupo de cientistas fundou o chamado Clube de Roma e publicou “Os limites do crescimento” também conhecido como Relatório *Meadows*. Este estudo simula a interação homem e meio ambiente no qual levou em consideração o aumento populacional e o esgotamento dos recursos naturais (Meadows et al., 1972; Souza; Armada, 2017).

Com a ampliação do debate sobre os riscos de degradação do meio ambiente, a primeira grande discussão internacional sobre a temática aconteceu na Conferência de Estocolmo em 1972 na Suécia (Cavalcanti, 1994). Neste mesmo evento, o conceito de sustentabilidade começou a ser delineado explorando as relações entre desenvolvimento econômico, qualidade ambiental e equidade social, e até então, não se falava de desenvolvimento sustentável (Pereira; Silva; Carbonari, 2011).

Os autores Pereira; Silva; Carbonari (2011) definem sustentabilidade como a característica de um processo ou sistema que permite que ela exista por certo tempo ou por tempo indeterminado. Uma sociedade sustentável é aquela que consegue viver em harmonia com os recursos naturais dos quais usufrui.

No início da década de 80, a ONU estabeleceu um grupo de pessoas de diferentes países em desenvolvimento e desenvolvidos e os encarregou para identificar a longo prazo estratégias ambientais para a comunidade internacional (Elliot, 2013).

Os debates sobre as questões ambientais continuaram a todo vapor e em 1983 foi criada a “Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento”, mais conhecida como Comissão *Brundtland*, que publicou em 1987 o relatório “Nosso futuro comum”, sendo considerado a chave para colocar o desenvolvimento sustentável nas políticas de desenvolvimento internacional o definindo como desenvolvimento que atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de gerações futuras (Pereira; Silva, Carbonari, 2011; Elliot; Wright, 2013).

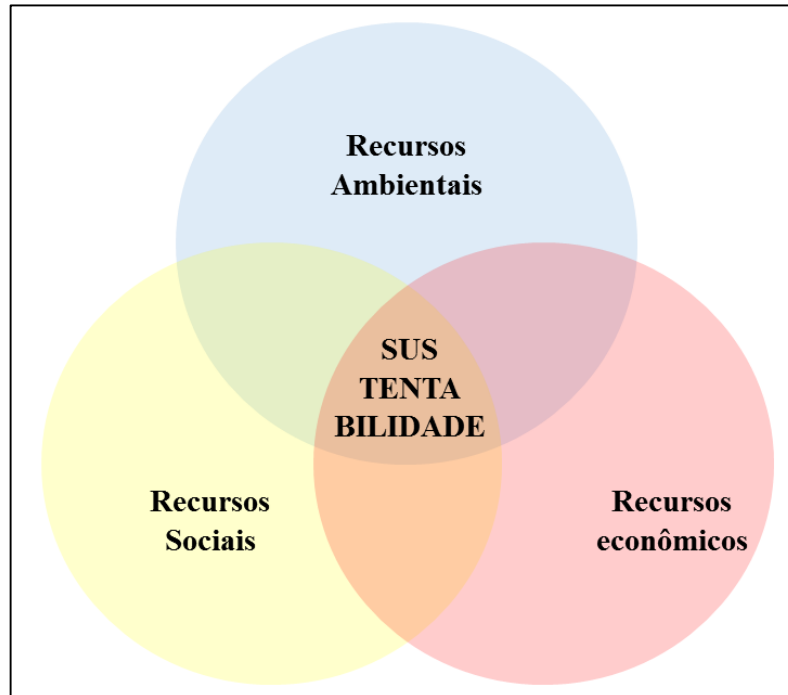
Durante a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente realizada em 1992, conhecida como ECO-92, foram elaborados documentos importantes, entre eles, a Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento e a Agenda 21 com a proposta de estabelecer um novo modelo de desenvolvimento a partir da sustentabilidade e desenvolvimento sustentável (Souza; Armada, 2017).

No ano 1997, a cidade de Tessalônica na Grécia, foi palco da Conferência Internacional sobre Meio Ambiente e Sociedade, consolidando planos e recomendações voltados a Educação Ambiental, assim como, reconheceu os resultados das metas propostas anteriormente e que não foram alcançadas (Barbieri; Silva, 2011). Logo após, em 2002, foi realizada em Johannesburgo a Conferência sobre Desenvolvimento Sustentável também chamada de Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável ou Rio +10, destacando entre seus objetivos o fortalecimento para o alcance de partes componentes da Agenda 21, projetando prioridades para novas metas que surgiram ao longo da década (Dias, 2002).

Passados dez anos após o Rio+10, aconteceu a convocação para a realização da Rio +20 que reacendeu as esperanças em avançar para a transição de uma sociedade global sustentável, não atendendo as expectativas globais onde ao final foi apresentada “O Futuro que (não) Queremos” para que os governantes tenham decisões concretas a nível nacional e internacional a fim de evitar consequências mais catastróficas (Guimarães; Fontoura, 2012).

As relações entre os pilares básicos da sustentabilidade (*triple bottom*) apresentado na Figura 7 a seguir, devem-se equilibrar mutuamente. O equilíbrio para o desenvolvimento sustentável não é fácil de alcançar, pois durante este processo é necessário respeitar os interesses igualmente (Klarin, 2011).

Figura 7 - Tripé da sustentabilidade

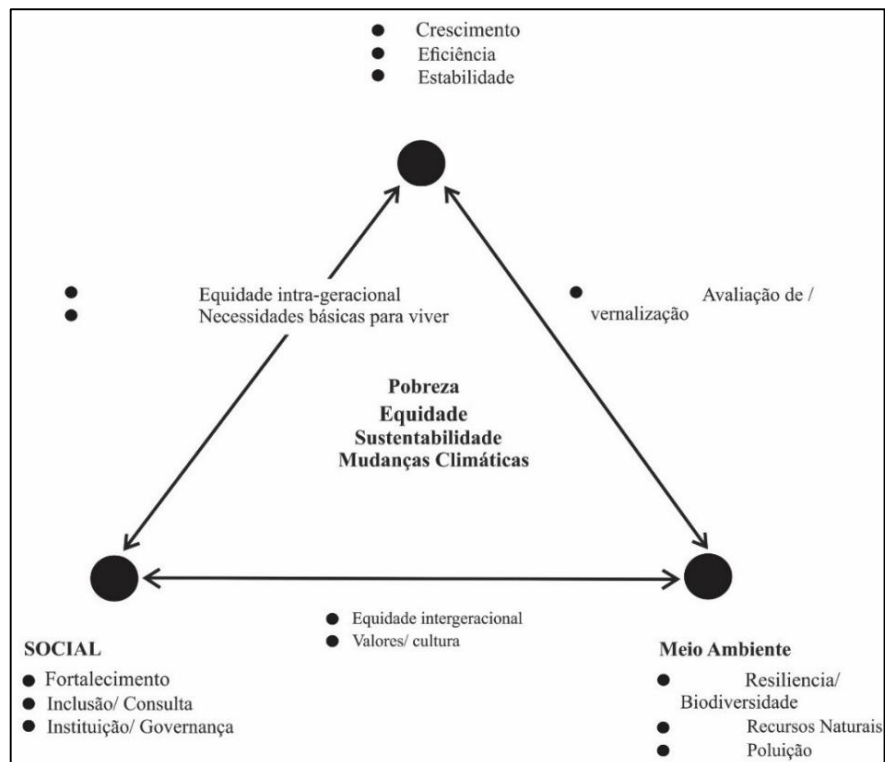


Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Para um melhor entendimento dessa interação Munasinghe (2002) criou o triângulo do desenvolvimento sustentável (Figura 8) apresentada na próxima página. Este desenvolvimento requer uma análise equilibrada e integrada dos três pontos de vista principais (econômico, social e ambiental). Cada ponto deste representa um domínio e um sistema com suas próprias forças motrizes e distintos objetivos.

A visão econômica é voltada para a melhoria do bem-estar humano por meio de aumentos no consumo de bens e serviços. O ambiental se concentra na proteção da integridade e resiliência dos sistemas ecológicos e o social enfatiza o enriquecimento das relações humanas a partir das conquistas individuais e grupais.

Figura 8 - Elementos do triângulo do desenvolvimento sustentável



Fonte: Munasinghe (2002).

As interações entre os domínios são importantes para garantir o equilíbrio e as sinergias existentes entre as três dimensões. Os problemas, a exemplo da pobreza, podem ser colocados no centro do triângulo para enfatizar a interligação entre todas as dimensões (Munasinghe, 2002).

Envolver estas três perspectivas da sustentabilidade é particularmente complexo e os diferentes campos da atividade humana devem ser contemplados no desenvolvimento de uma sociedade voltada ao desenvolvimento sustentável, buscando alternativas para a substituição do atual modelo de economia mais alinhado com os princípios do tripé. Para alcançar estes dois conceitos foram elaborados os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), apresentados a seguir.

Nos anos 2000 foi apresentado pela ONU um conjunto de metas pactuadas pelos governos de 191 países membros com a finalidade comum em tornar o mundo um lugar mais junto, solidário e melhor de se compartilhar. Países desenvolvidos acordaram alcançar os Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODM), também conhecido como os “8 Jeitos para Mudar o Mundo”, conforme a Figura 9 apresentada a seguir, até o ano de 2015 na busca por soluções para grandes problemas da humanidade (Garcia; Garcia, 2016).

Figura 9 - Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM)



Fonte: ODM BRASIL (2015).

Vandermoortele (2011) adverte que, o período de implementação destas metas se estendeu de 2001 a 2015 e foi utilizado como meio de mobilização a nível global dos problemas existentes, uma vez que os ODMs visavam expandir o discurso de desenvolvimento para além do paradigma de crescimento em vigência.

Devido ao desenvolvimento acelerado e suas mudanças em diversas esferas mundiais, a ONU propôs em 2015 a Agenda 2030 como um plano de ação para o planeta com enfoque no Desenvolvimento Sustentável e que foi posteriormente adotada por chefes de estados, empresários e representantes da sociedade civil (Vieira, 2020). Este plano de ação universal possui as três dimensões (social, ambiental e econômica) bem definidas e conta com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e 169 metas (Figura 10) a seguir, que deverão ser alcançadas até o ano de 2030 (ONU, 2015).

Figura 10. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)



Fonte: ONU (2015)

Esses 17 objetivos contidos na Agenda 2030 possuem como ponto vital a vida dos seres humanos, do planeta, e a prosperidade de maneira coletiva com o propósito de por fim na

pobreza, na desigualdade, e a injustiça aliada a garantia de segurança para que o meio ambiente e recursos naturais sejam complementares (Fuentes Mora, 2022).

A título deste trabalho, elencamos dois ODS que são essenciais para o desenvolvimento deste estudo, sendo, o ODS 6 com a garantia da disponibilidade de água, sua gestão sustentável e saneamento para todos que dentre suas metas se encontra a melhoria da qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo pela metade a proporção de águas residuais não tratadas e aumentando a reciclagem e reutilização segura a nível global (ONU, 2023).

Bem como o ODS 12, que busca assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis a partir da gestão sustentável e do uso eficiente dos recursos naturais, alcançando o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos ao longo de todo o ciclo de vida (ONU, 2023).

Portanto, o atual compromisso mundial se baseia essencialmente em cinco pilares, sendo estes: as pessoas (resguardo à dignidade humana e erradicação de fome e pobreza); o planeta (combate à degradação ambiental); a prosperidade; a paz; e a parceria através de mobilizações dos meios necessários para a implementação da agenda (Máximo, 2015).

Sendo assim, para que estas metas tenham sucesso se faz necessário o uso de indicadores em toda sua construção. Países são incentivados a elaborar seu próprio quadro de indicadores com focos em diferentes aspectos de relevância nacional, regional ou local (Kronemberger, 2019).

#### **4.4 Indicadores de sustentabilidade**

Lidar com as problemáticas ambientais carece de uma visão sistêmica, a fim de conhecer as inter-relações que permitiram os comportamentos da sociedade diante do econômico, social e ecológico (Rabelo; Lima, 2009).

O termo indicador vem do latim *indicare*, que significa descobrir, apontar, anunciar ou estimar. Estes indicadores tem a capacidade de informar sobre o processo de uma meta predeterminada como também antecipar percepções sobre uma tendência ou fenômeno que não seja identificado de imediato (Hammond, 1995).

Os indicadores representam uma abordagem projetada para enfrentar desafios ocasionados pelos humanos. A maioria são derivados de análises econômicas, processos sociais e naturais, e em alguns casos, integrados em mais de um domínio, buscando fornecer a sustentabilidade de processos que estão em busca destas conectividades. Seu objetivo principal

é agregar e quantificar informações de modo que sua significância fique aparente, simplificando informações sobre fenômenos complexos (Mcglade, 2007; Van Bellen, 2004).

Portanto, identificam características relevantes de um sistema e esclarecem as diversas e complexas relações entre as diferentes variáveis envolvidas em um específico fenômeno, o tornando visível e perceptível, constituindo assim instrumentos úteis de análise objetiva sobre o fenômeno considerado, subsidiando assim o processo de tomada de decisão em gestão, desenvolvimento e monitoramento de projetos e políticas de desenvolvimento sustentável (Hanai; Espíndola, 2011).

Existem diferentes tipos de indicadores conforme a abordagem metodológica adotada pelo pesquisador. Destaca-se aqui a Pegada Hídrica (*Water Footprint*), uma versão mais abrangente do conceito de Água Virtual (*Virtual Water*), que contabiliza o uso direto e indireto de água doce nos processos produtivos e no consumo humano, se caracterizando como indicador crucial na prevenção da escassez hídrica em várias regiões ao redor do mundo (Hoekstra et al., 2011).

Entre os indicadores em movimento, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) criou uma ferramenta para estudos sobre sustentabilidade na agricultura, com aplicação recomendada para produtores e empresas agroindustriais (FAO, 2014).

#### 4.4.1 Indicadores de Avaliação da sustentabilidade de sistemas de alimentos e agricultura - SAFA.

A ferramenta SAFATools da FAO foi criada em 2013 e permite avaliar a sustentabilidade mediante a indicadores dispostos em quatro dimensões, sendo estas: boa governança (G), integridade ambiental (A), resiliência econômica (R) e bem-estar social (B). Esta ferramenta metodológica vem para estabelecer uma referência internacional para avaliação de *trade-offs* e sinergias entre as quatro dimensões da sustentabilidade (FAO, 2014). Os desdobramentos do modelo SAFA estão apresentados na Figura 11 a seguir.

Figura 11 - Desdobramento do modelo SAFA.

<b>Governança</b>				
<b>Ética corporativa</b>	Missão		Due Diligence	
<b>Prestação de contas</b>	Auditoria Holística	Responsabilidade		Transparência
<b>Participação</b>	Interação entre <i>Stakeholders</i>		Procedimentos de reclamação	Resolução de conflitos
<b>Regras e legislação</b>	Legitimidade	Remediação, reparação e prevenção	Responsabilidade Civil	Apropriação de recursos
<b>Gestão Holística</b>	Plano de gestão de sustentabilidade		Contabilidade de custos completo	
<b>Integridade Ambiental</b>				
<b>Atmosfera</b>	Gases GEE		Qualidade do Ar	
<b>Água</b>	Retirada de água		Qualidade da água	
<b>Solo</b>	Qualidade do solo		Degradação do solo	
<b>Biodiversidade</b>	Diversidade do ecossistema	Diversidade de espécies		Diversidade genética
<b>Materiais e energia</b>	Uso de material	Uso de energia	Redução de resíduos e disposição	
<b>Bem-estar animal</b>	Saúde animal		Liberdade de estresse	
<b>Resiliência Econômica</b>				
<b>Investimento</b>	Investimento interno	Investimento em comunitário	Investimento de longo alcance	Rentabilidade
<b>Vulnerabilidade</b>	Estabilidade de produção	Estabilidade da produção	Estabilidade de oferta	Liquidez
<b>Qualidade de Produto e Informação</b>	Segurança alimentar		Qualidade alimentar	Informação de produto
<b>Economia Local</b>	Criação de valor		Procedimentos local	
<b>Bem-estar social</b>				
<b>Meios de subsistência</b>	Qualidade de vida		Capacidade de desenvolvimento	Acesso aos meios de produção
<b>Práticas de comércio justo</b>	Compradores responsáveis		Direitos dos fornecedores	
<b>Direitos trabalhistas</b>	Relações de emprego	Trabalho forçado	Trabalho infantil	Liberdade de associação e direito à negociação
<b>Equidade</b>	Não discriminação		Igualdade de gênero	Suporte a pessoas vulneráveis
<b>Segurança e saúde humana</b>	Disposições em matéria de segurança e saúde no local de trabalho		Saúde pública	
<b>Diversidade cultural</b>	Conhecimento indígena		Soberania alimentar	

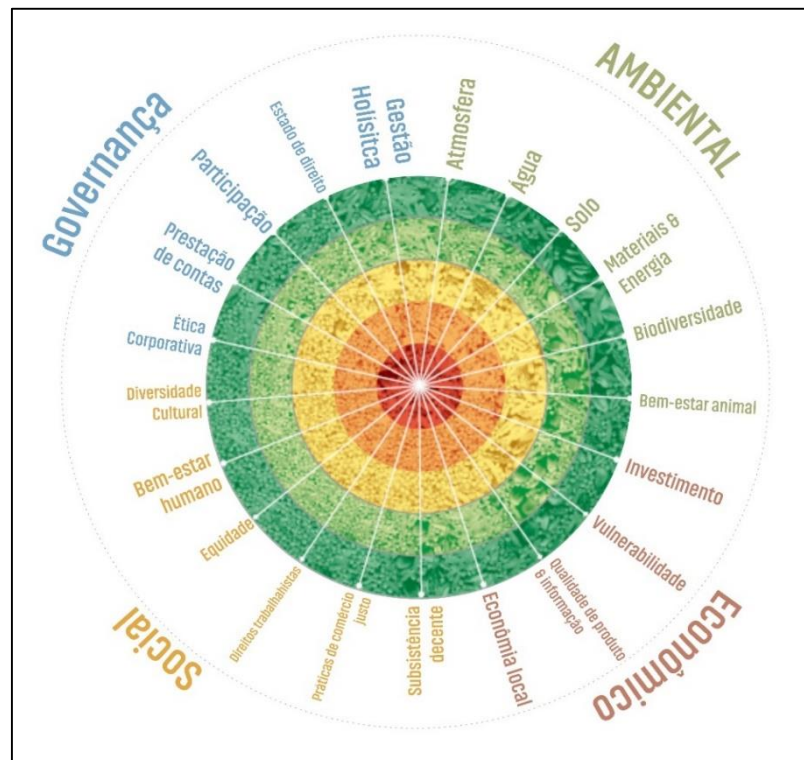
Fonte: Adaptado de FAO (2014).

Para cada uma das quatro dimensões citadas anteriormente, a SAFA delinea elementos essenciais de sustentabilidade com base em documentos de referência e convenções realizadas e estão agrupados em 21 temas e 58 subtemas que se dividem em 116 indicadores mensuráveis, definidos por meio de consultas a especialistas no qual facilita medir os progressos em direção a sustentabilidade (FAO, 2014).

O público-alvo de avaliação desta ferramenta vai desde pequenas e médias até grandes empresas, além de organizações e outras partes interessadas, sendo relevante para estratégias,

políticas e planejamentos governamentais (FAO, 2014). Para Diniz et al., (2015), este método foi desenvolvido para ser utilizado por produtos e empresas envolvidas na produção, industrialização/transformação, logística e comercialização dos bens criados por cadeias agropecuárias no qual contribui na compreensão dos componentes da sustentabilidade ao apontar suas forças e fraquezas, possibilitando a busca por soluções pelas partes interessadas. O modelo holístico proposto pela FAO pode ser observado na Figura 12 a seguir.

Figura 12 - Proposta do modelo holístico SAFA.



Fonte: FAO (2014).

Este modelo já vem sendo aplicado em diversos tipos de cultivos e pecuária ao redor do globo terrestre. Brenes; Julio (2021) avaliaram a sustentabilidade do cultivo de banana no sul do Caribe na Costa Rica no qual demonstrou que os sistemas tradicionais (sistemas de produção de grupos indígenas cabecár) são mais sustentáveis que os convencionais (grandes fazendas).

Shamsi et al., (2019) analisaram as relações entre a sustentabilidade da agricultura orgânica nos Emirados Árabes Unidos e na região da Sicília localizada na Itália, concluindo que as fazendas podem buscar por melhorias no seu desempenho voltados a sustentabilidade para a produção orgânica, projetando um cenário futuro no qual os agricultores orgânicos precisarão concentrar-se no consumo na fase posterior, utilizando os indicadores levantados para beneficiar e agregar valores a empresa. Timpanaro; Scuderi (2021) corroboram com os

resultados obtidos para a Sicília com ações que promovam melhoras e compromissos de acordos verdes e com os ODS.

No Brasil, alguns estudos já estão utilizando esta ferramenta no desenvolvimento da agropecuária. Diniz et al., (2015) discutem o uso de indicadores de sustentabilidade em propriedades leiteiras, onde o SAFA é uma das alternativas devido sua capacidade de integrar indicadores, permitindo a observação detalhada dos fenômenos. Bonatto (2018) avaliou as fortalezas e fraquezas dos Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) e a eficácia como promotor de processos de desenvolvimento rural na agricultura familiar, alinhados ao ODM 2, na promoção do desenvolvimento sustentável e combate à fome, com resultados diversificados, com 86% das propriedades avaliadas recebendo classificações entre Bom e Ótimo nas quatro dimensões analisadas.

No caso do cultivo de arroz, Colombo (2017) analisou o grau de sustentabilidade do arroz irrigado no sul de Santa Catarina, concluindo que a região possui aspectos legislativos e econômicos que impactam diretamente os produtores, com a integridade ambiental frequentemente negligenciada devido à falta de conhecimento, possuindo índices baixos quando observados à atmosfera, água e biodiversidade.

#### **4.5 Gestão Ambiental Empresarial**

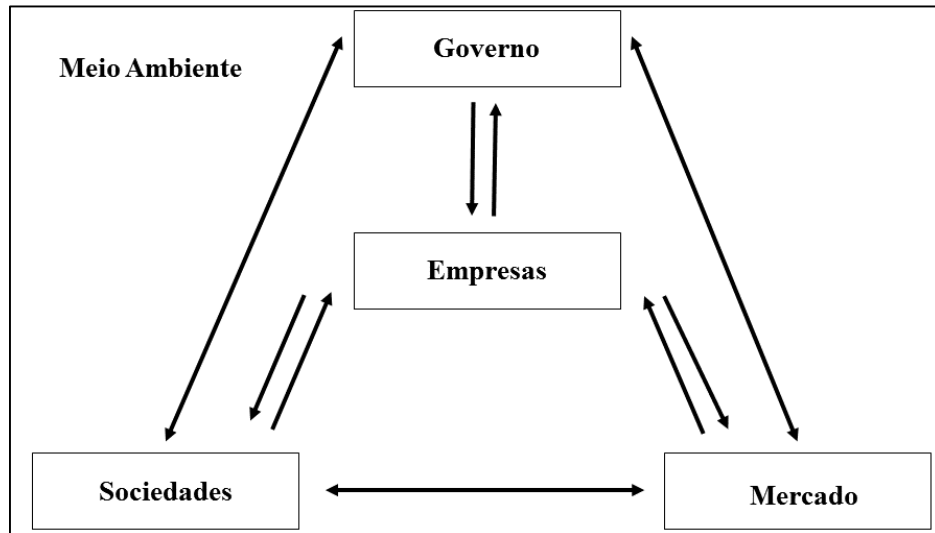
Meio ambiente é tudo que envolve ou cerca os seres vivos, os problemas globais exigem respostas globais e ações neste nível de abrangência baseiam-se em acordos intergovernamentais e na atuação dos organismos criados para sua administração (Barbieri, 2016). Já a ciência responsável por estudar e administrar o exercício das atividades socioeconômicas a fim de promover o uso racional dos recursos naturais é a gestão ambiental, na qual administra e almeja o uso de práticas que garantam a conservação e a preservação da biodiversidade (Barsano; Barbosa, 2014).

A adoção de variáveis ambientais na gestão geral de uma empresa levou à implementação do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) como estratégia de negócio e diante das mudanças mundiais, empresas devem ser comprometidas com metas ambientais a fim de adotar procedimentos para a diminuição dos impactos gerados (Zanatta, 2017).

Para tanto, a solução para os problemas ambientais ou sua minimização exige novas decisões que contribuam para a ampliação da capacidade de suporte do planeta, as preocupações dos empresários são influenciadas por três conjuntos de forças que interagem entre si apresentadas na Figura 13 a seguir, que compreendem: o governo, a sociedade e o mercado.

Sem estas pressões não seria possível observar o crescente envolvimento de empresas em matéria ambiental (Barbieri, 2016).

Figura 13 – Influências da gestão ambiental empresarial



Fonte: Adaptado de Barbieri (2016).

A implementação da gestão ambiental possibilita também a avaliação do ciclo de vida (ACV) de um produto fabricado e os seus impactos ambientais, no qual fornece informações importantes para o desenvolvimento de alternativas, que visem uma produção mais limpa a partir da adoção de tecnologia e procedimentos ambientais minimizadores e eliminadores de passivos ambientais (Barbosa, 2014).

Existe um conjunto de normas padronizadas internacionalmente no qual definem requisitos que devem ser considerados por organizações a fim de garantir qualidade aos seus produtos e serviços. A *International Organization for Standardization* e/ou Organização Internacional de Normatização (ISO) é uma instituição internacional independente com adesão de 163 organismos nacionais de normatização (Tironi, 2016).

O desenvolvimento de normas internacionais pela ISO é realizado mediante estágio sucessivos que começam por um item de trabalho preliminar e termina com sua publicação (Barbieri, 2016). As normas ISO 14000 tratam diretamente do gerenciamento ambiental e é indicado para empresas na implementação de normas que visam minimizar os impactos ambientais de suas atividades e melhorar seu desempenho ambiental perante a sociedade. Reiksti (2012) apresenta alguma das normas existentes, sendo estas:

- ISO 14001: direcionada a terceiras partes, trata do SGA da empresa;
- ISO 14004: é destinada ao uso interno da Empresa sendo um suporte ao SGA;

- ISO 14010: asseguram a credibilidade ao processo de certificação ambiental, verificando os compromissos estabelecidos pelas empresas em seu SGA, versa sobre as Auditorias Ambiental;
- ISO 14031: estabelece diretrizes de medição, análise e definição do desempenho ambiental de uma organização, assegurando o SGA;
- ISO 14020: voltada a rotulagem ambiental, estabelece orientação para ressaltar as características ambientais de produtos;
- ISO 14040: normas voltadas a análise do ciclo de vida, analisa o impacto causado pelos produtos, processos e serviços do berço ao túmulo;
- ISO 14044: abrange os estudos de ciclo de vida (ACV) e de inventário do ciclo de vida (ICV) provendo orientações (ABNT, 2014);
- ISO 14046: especifica princípios, requisitos e diretrizes relacionados a avaliação da pegada hídrica de produtos, processos e organizações com base na ACV (ABNT, 2017);
- Guia ISO 64: orientar projetos de produtos para minimizar impactos ao meio ambiente.

Portanto, a prática da gestão ambiental em organizações introduz a variável de “valorização ambiental” no planejamento de empresas e as torna capaz para conquistar certificados de excelência como os apresentados anteriormente. Quando bem aplicado ainda permite uma redução de custos diretos (desperdício de matéria-prima e de recursos escassos como água e energia) além de custos indiretos relacionados a ações judiciais ambientais e trabalhistas (Barsano; Barbosa, 2014).

Alguns instrumentos de gestão contribuem significativamente para o sucesso empresarial. Dois exemplos que serão abordados nos tópicos seguintes desta tese são a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e a Pegada Hídrica (PH). Em conjunto, esses instrumentos aprimoram a ecoeficiência das empresas e minimizam os impactos sobre os recursos hídricos utilizados.

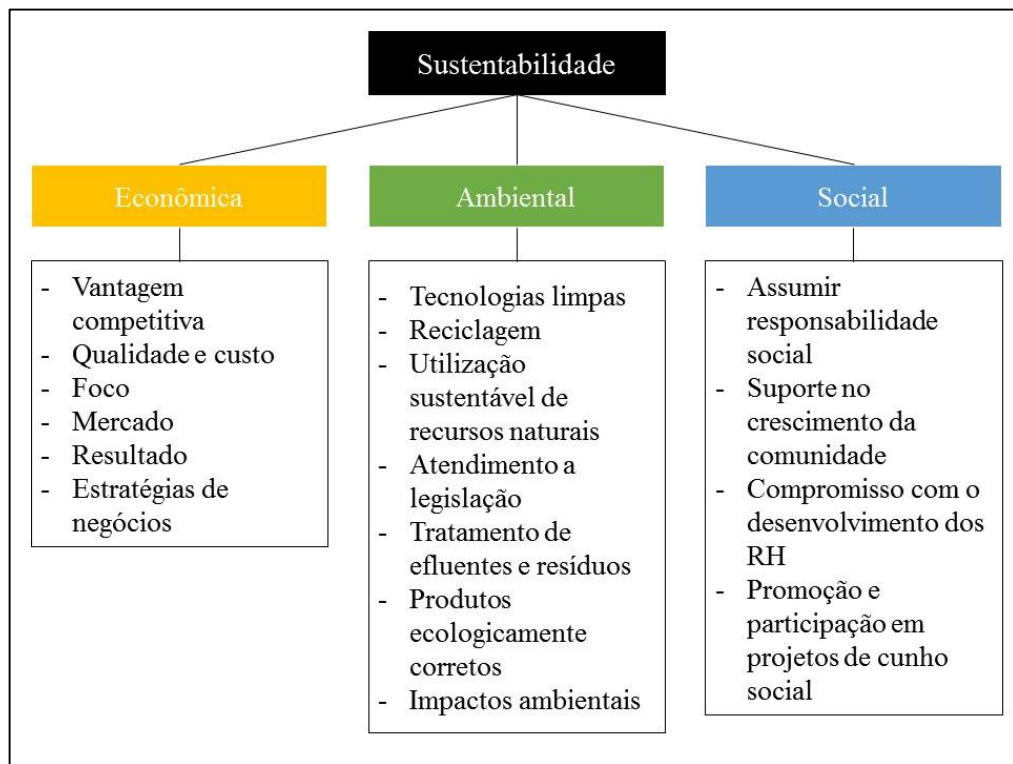
#### **4.6 Responsabilidade social e empresarial**

A mudança de paradigma econômico vem acontecendo baseada apenas no desempenho financeiro, incorporando a variável ambiental como ponto chave na gestão de governos e empresas, implementando os conceitos de desenvolvimento sustentável para o alcance da sustentabilidade nas organizações (Coral, 2002).

Pereira; Silva; Carbonari (2011) afirmam que organizações estão buscando modificar seus modelos de negócios com base no tripé da sustentabilidade, na qual a prática significa a criação de produtos e serviços que contribuam efetivamente na melhoria socioambiental dos seus públicos internos e externos em busca de resultados operacionais.

De acordo com Coral (2002), o modelo de sustentabilidade dentro de uma empresa na *Nova Economia* deve possuir a seguinte lógica, a qual baseia-se nas premissas do desenvolvimento sustentável para a indústria, buscando viabilidade econômica, ambiental e social de uma empresa, conforme descrito na Figura 14 a seguir.

Figura 14 - Modelo de Planejamento Estratégico para Sustentabilidade Empresarial – PEPSE.



Fonte: Adaptado de Coral (2002).

Este modelo utiliza macro etapas no qual insere análises detalhadas das variáveis ambientais e sociais. A globalização e as mudanças nas tendências demográficas e discursos em torno do papel das empresas na sociedade e na governança social têm impulsionado as organizações a colocar a responsabilidade social empresarial (RSE) na agenda (Hansen; Seierstad, 2017).

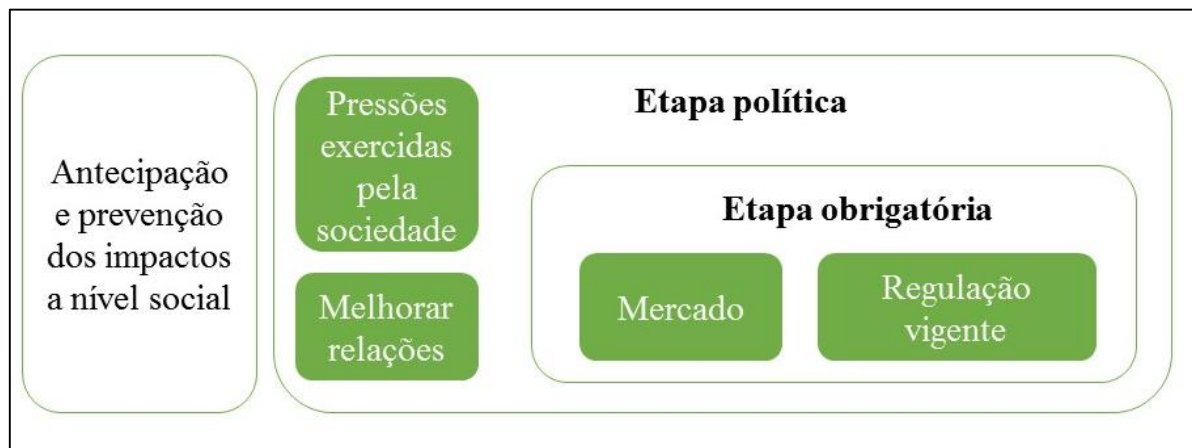
Neste contexto, a realização de ações sociais realizadas pelas empresas e voltadas a comunidade e conseqüentemente, a divulgação dos resultados por meio de relatórios, ganhou

destaque e tornou-se lei em diversos países europeus, surgindo assim os primeiros estudos voltados para formulação do conceito de responsabilidade social (Silva et al., 2015).

Para tanto, a RSE é definida como um compromisso assumido por uma organização perante a sociedade, por meio de atos e atitudes, que buscam afetar positivamente comunidades de modo amplo e específico, agindo de maneira proativa e coerente no que tange o seu papel na sociedade e sua prestação de contas para com ela (Bassetto, 2010).

Na primeira etapa para evolução do conceito, o debate centrou-se na tentativa de como era realizada, o pesquisador Sethi em 1975 focou sua análise na forma como a RSE era realizada, propondo um esquema de três estágios com base nas obrigações e responsabilidades que uma empresa tem, conforme a Figura 15 a seguir:

Figura 15 - Etapas da responsabilidade social empresarial.



Fonte: Adaptado de Portales, Gustavo e López (2017).

Portales; Gustavo; López (2017) propõem a análise dos três estágios baseados nas obrigações e responsabilidade de uma empresa: o primeiro corresponde ao nível obrigatório de mercado; o segundo é o estágio político no qual é influenciado pelas pressões sociais do contexto em que a empresa se encontra inserida; e o terceiro é o da responsabilidade social, determinado pela capacidade da empresa de prevenir os impactos sociais decorrentes de suas atividades empresariais.

O enfoque da sustentabilidade no âmbito corporativo é importante pelas suas contribuições diretas e indiretas dentro de uma empresa em representação ao seu sistema de produção, vendas, demandas por alimentos e distribuição até o consumidor final já que produz impactos em toda a sociedade ao seu entorno (Pereira; Silva, Carbonari, 2011).

A sustentabilidade é uma responsabilidade global e, nesta perspectiva, o empresário que deseja manter suas atividades deve considerar seu impacto na sociedade, e caso não demonstre

boa vontade, poderá ser alvo de grupos sociais e consumidores que monitoram e promovem ações em rede, podendo comprometer a imagem da empresa e conseqüentemente seus lucros (Sólio, 2013).

Ademais, quando a economia se alia à ecologia, o desenvolvimento sustentável é reconhecido como objetivo essencial para o progresso humano, adotando uma abordagem inclusiva, destacando-se quando combinado aos aspectos sociais, assumido como um fenômeno processual, integrando um conjunto de conhecimentos e representando uma meta abrangente composta por objetivos menores com prazos específicos (Munck; De Souza, 2009).

Esta sustentabilidade é, portanto, um conjunto de ações mais objetivas para o alcance do desenvolvimento sustentável, considerando assim cada meta organizacional como um objetivo final em busca de um equilíbrio sistêmico (Munck; De Souza, 2009).

Logo, a sociedade de consumo cujo o paradigma contraria a preservação das condições de sobrevivência vem encontrando resistência em segmentos da sociedade que buscam inovações e alternativas (Sólio, 2013). Antes de mais nada, a RSE constitui uma série de ações específicas que são parte de processos necessários para o alcance da sustentabilidade organizacional, sendo ela apenas uma das sustentabilidades necessárias para o alcance do desenvolvimento sustentável, admitindo que cada uma dessas sustentabilidades é uma meta incumbida de um fenômeno maior e isto não diminui a efetiva responsabilidade das organizações para causas sustentáveis (Munck; De Souza, 2009).

Diante do contexto, a RSE pode transformar-se em um importante meio de reforçar a imagem de uma organização, mas é necessário diferenciar as empresas que buscam interagir genuinamente com a sociedade daquelas que buscam apenas produzir uma estratégia de *marketing* acerca da causa (Oliveira et al., 2014).

O argumento ecológico vem sendo inserido nas campanhas de comunicação de *marketing*, mas nem sempre atende as necessidades eco responsáveis ao passo da contemporaneidade e a principal razão para a mudança neste paradigma é o fato do mercado consumidor estar mais informado e exigente, ser “verde” deixou de fazer parte da filantropia para se tornar, em muitos casos, a principal estratégia de posicionamento das corporações (Tavares; Ferreira, 2012).

Neste sentido, a ética na qual podemos entender como um conjunto de ações e valores que correspondem a uma moral é importante no combate ao “*greenwashing*”, conhecido como falso marketing verde ou maquiagem verde na qual consiste na utilização de uma imagem de proteção ambiental sem corresponder a verdade e, conseqüentemente oferecer produtos que

supostamente contribuiria para a proteção do meio ambiente, quando na verdade isso não ocorre (Souza Goes; Rebouças, 2017).

Hans Jonas, em sua obra “O Princípio da Responsabilidade”, propõe uma nova ética para o pensamento e comportamento humano, destacando que para que haja responsabilidade é preciso existir um sujeito consciente para que a ponderada qualidade de vida humana seja incorporada nas consciências (Jonas, 2006).

Em síntese, a preocupação com práticas de marketing “verde” se encontra cada vez mais presente, e torna-se cada vez mais necessário desenvolver instrumentos que ofereçam respostas rápidas e eficazes para seu combate, responsabilizando assim, os empresários que as utilizam.

#### **4.7 Pegada Hídrica (PH): conceitos e aplicações**

O crescimento na demanda de água para suprir as necessidades humanas, tanto para uso doméstico quanto para produção de alimentos, ocasiona uma acelerada degradação na qualidade da água oriundos dos processos industriais e agrícolas (Costa et al., 2019). Esta realidade vem sofrendo alterações graças a metodologias que contribuem para a minimização dos impactos antrópicos nos recursos hídricos.

O conceito de água virtual foi introduzido por Allan em 1998 como uma alternativa para a escassez de água doce em países, é semelhante a Pegada Hídrica (PH), demonstrando a transferência de água na forma de alimento a nível local e global (Ali, 2019). Já O conceito da PH surgiu em 2002, proposto pelo professor Arjen Y. Hoekstra, como um indicador do uso direto e indireto da água por consumidor ou produtos, multidimensional, demonstrando os volumes de consumo da água por diferentes fontes e tipos de poluição (Hoekstra et al., 2011).

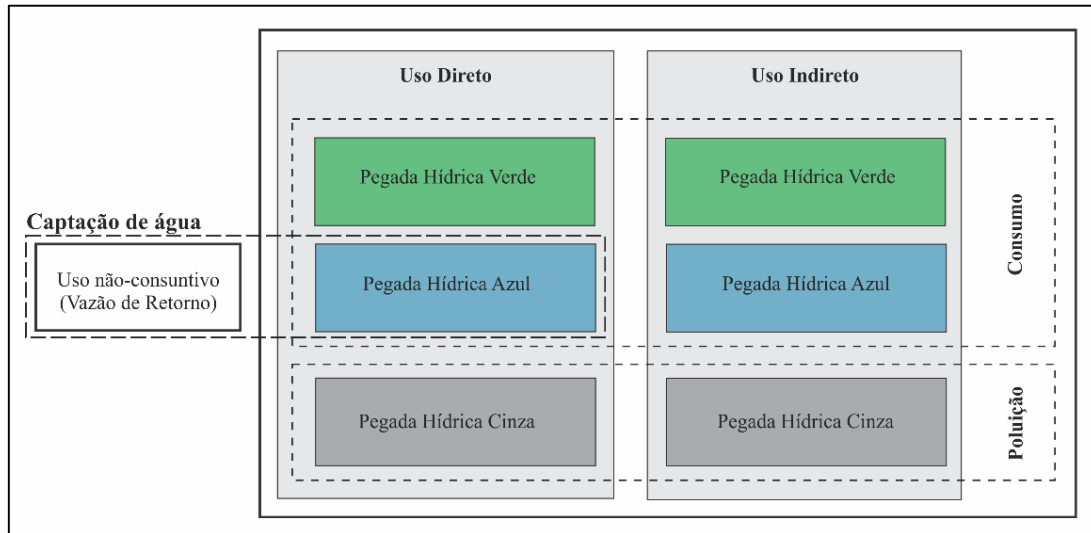
SAldaya; Munõz; Hoekstra (2010), a PH contabiliza o uso consuntivo da água, apresentando-se como uma ferramenta de gestão eficiente para os setores produtivos no qual possui índices que apontam os valores existentes de consumo d’água em diferentes situações e condições em que se faz uso da água.

Os cálculos são propostos no manual de avaliação da PH e contribuem para a discussão sobre o consumo, alocação sustentável e equitativa dos recursos hídricos, assim como na avaliação de dependências e de impactos socioeconômicos e ambientais a nível local e global, existindo limitações no uso desta metodologia relacionados a dificuldades no levantamento dos dados necessários para contabilizar os seus componentes (Bonfim, 2017; Bleninger; Kotsuka, 2015).

##### **4.7.1 Componentes da Pegada Hídrica**

A utilização da PH para mensurar o uso da água é importante, pois as informações obtidas auxiliam na elaboração de planos de gestão eficiente deste recurso, alinhados com as políticas regionais, reduzindo os conflitos existentes decorrentes do uso múltiplo da água (Brandão, 2020). Sua contabilização é feita a partir de três componentes, sendo estes, água verde, azul e cinza para o uso direto e indireto de água, conforme Figura 16 a seguir:

Figura 16 - Componentes da Pegada Hídrica



Fonte: Adaptado de Hoekstra et al., 2011.

#### 4.7.2 Pegada Hídrica verde – PHverde

A PHverde refere-se ao consumo de água devido a precipitação pluvial que não é escoada ou não repõe a água subterrânea, sendo armazenada no solo ou na zona radicular da vegetação, ou seja, a água consumida no processo de evapotranspiração das culturas. Eventualmente parte da precipitação evapora ou transpira por meio das plantas, então, a água verde pode ser produtiva para o crescimento e desenvolvimento das culturas, podendo ser absorvida pelas plantas. O consumo de água verde na agricultura pode ser estimado utilizando modelos de estimativa de evapotranspiração com base nos dados de entrada, levando em consideração as características da cultura, do solo e do clima (Hoekstra et al., 2011).

Este componente estima o volume total de água da chuva consumida durante o processo de produção, a água da chuva evapotranspirada (dos campos e plantações) mais a água incorporada nos produtos agrícolas e florestais colhidos (Hoekstra et al., 2011).

#### 4.7.3 Pegada Hídrica azul - PHazul

A PHazul de um produto se refere ao consumo de água azul (superficial e subterrânea) ao longo de sua cadeia produtiva, a perda de água disponível em uma bacia hidrográfica; a

perda ocorre quando a água evapora, retorna a outra bacia ou ao mar ou é incorporada em um produto (Hoekstra et al. 2011).

O termo “uso consuntivo” refere-se a situações específicas de utilização da água, que incluem: a água que evapora, a que é incorporada ao produto, a que não retorna à mesma bacia hidrográfica que é escoada para o oceano ou não retorna no mesmo período, como no caso em que é retirada durante um período de seca e retorna durante um período de chuvas.

A evaporação da água é considerada geralmente o mais significativo, muitas vezes a água consumida é comparada a evaporação, porém os outros três casos citados anteriormente, quando relevantes também devem ser inclusos (Ribeiro, 2014). Já para Hoekstra et al., (2011) toda evaporação estando relacionada a uma produção específica precisa ser levada em consideração, isto inclui a água evaporada durante o armazenamento (reservatórios de água), transportes (canais abertos), processamento, coleta e distribuição.

Ao se fazer a avaliação deste componente, é preciso distinguir as fontes de captação de água utilizadas, delinear a divisão entre a água superficial, subterrânea e fóssil. Mas na prática esta distinção não é feita e como consequência ocorre a escassez de dados disponíveis para sua contabilização (Hoekstra et al., 2011). Portanto, na produção industrial e no abastecimento doméstico de água, a PH é o volume de água extraído de fontes de água doce, já na agricultura ela inclui também a evaporação de água no processo de irrigação nos campos (Fraiture et al., 2010; Hoekstra et al., 2009).

#### 4.7.4 Pegada Hídrica cinza – PHcinza

Para contabilizar a poluição lançadas nos corpos d’água é utilizado a PHcinza, sendo conceituada como o volume de água necessário para assimilar a carga de poluentes a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água existentes (Hoekstra et al., 2011).

Os cálculos deste componente são realizados utilizando os padrões ambientais de qualidade da água que compõe o corpo receptor de acordo com as normas referentes as concentrações máximas permitidas, sendo assim, a PHcinza maior que zero não significa que os padrões ambientais de qualidade foram violados, mostra que a capacidade de assimilação da água foi consumida (Hoekstra et al., 2011).

O tratamento das águas residuais poderá zerar a PHcinza, quando as concentrações de poluentes nos efluentes forem iguais ou menores do que as concentrações existentes na água que foi captada (Hoekstra et al., 2011).

Sendo assim tem como objetivo indicar o nível de poluição na cadeia de produtos ou de processos, sendo definida como a água necessária para diluir/depurar os poluentes, a exemplo da região da Amazônia no qual o manejo de fertilizantes e defensivos agrícolas podem comprometer a qualidade hídrica em áreas de produção (Costa et al., 2019).

Portanto, as parcelas que escoam, infiltram e retornam do que foi precipitado e extraído dos corpos hídricos, carregam poluentes originados pela aplicação de insumos no cultivo agrícola (fertilizantes, pesticidas e etc.) degradando a qualidade da água, constituindo assim, em água cinza (Hoekstra et al., 2011). Diante do contexto, vale salientar que nem toda água cinza é derivada da água azul, no caso da agricultura, esta é dependente das águas pluviais, sendo que a PHcinza é devida a lixiviação causada pelas chuvas, destacando uma boa gestão de irrigação para reduzir o tamanho desta pegada (Chapagain; Tickner, 2012).

#### 4.7.5 Pegada Hídrica como indicador de sustentabilidade no uso da água em diferentes setores

Este indicador é importante para medir a prestação de serviços ecossistêmicos em provisão, regulação e suporte hídrico às populações, sendo assim, a PH permite a busca de respostas e ações que visem contornar os efeitos da escassez d'água (Giacomin; Ohnuma Jr, 2012; Costa et al., 2018). O setor industrial é um importante ator para a modificação das relações entre os recursos hídricos e as cadeias produtivas, e grandes empresas multinacionais já utilizam deste método e promovendo novas práticas sustentáveis para a produção e consumo da natureza (Empinotti; Jacobi, 2013).

A PH de uma empresa é definida como o volume total d'água doce utilizado para o seu funcionamento e manutenção, possuindo dois componentes conforme Tabela 1 a seguir, definidos como operacional (ou direta), correspondendo ao volume de água doce consumida ou poluída em decorrência das operações realizadas por ela, e de cadeia produtiva (ou indireta) que consiste no volume d'água doce ou poluída para produzir todos os bens e serviços que compõem insumos utilizados pela empresa, os termos “PH corporativa” ou “PH organizacional” podem ser adotados (Hoekstra et al., 2011).

Tabela 1 - Exemplos de componentes da PH de uma empresa (PHemp).

PH operacional		PH da cadeia de suprimento	
PH associada a elaboração dos produtos da empresa	PH adicional	PH diretamente associada a elaboração dos produtos da empresa	PH adicional
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Água incorporada no produto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo ou poluição da água</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PH dos ingredientes do produto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PH da infraestrutura.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Água consumida ou poluída através de um processo de lavagem.</li> <li>• Água poluída termicamente devido ao uso de refrigeração.</li> </ul>	<p>relacionados ao uso em cozinhas, limpeza e etc.</p>	<p>comprado pela empresa.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• PH de outros itens comprados pela empresa para processar seus produtos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PH de energia e materiais de uso geral.</li> </ul>
--	--	---	---

Fonte: Adaptado de Hoekstra *et al.*, 2011.

Portanto, é importante reconhecer os fluxos globais d'água, sendo a Água Virtual e PH essencial para a valorização e reconhecimento d'água como recursos chave capaz de influenciar estratégias que visem a segurança alimentar, fortalecimento e posicionamento no contexto geopolítico global (Empinotti; Warner, 2012).

Muitas organizações em todo o mundo reconhecem a água como insumo essencial em suas operações comerciais, e a falta de acesso a quantidades suficientes, assim como o processo de poluição, colocam em risco um número significativo de empresas (Safaya et al., 2016).

Os valores médios de consumo d'água na diversidade de produtos, servem como ferramenta de sensibilização no uso da água, sendo estas informações necessárias para comparar a eficiência nos processos produtivos agrícolas e industriais (Korsuka, 2013).

O uso desta metodologia é importante já que cerca de 20% da população mundial não possui acesso à água potável e aproximadamente 40% não possui água suficiente para uma estrutura adequada de saneamento básico e higiene. Em 20 anos, a quantidade média de água disponível por indivíduo vem reduzindo para um terço da quantidade atual, podendo afetar até 3 bilhões de pessoas em 50 anos (Empinotti; Jacobi, 2012).

Por fim, a PH com uma abordagem baseada na Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) auxilia e contribui para o desenvolvimento sustentável, oferecendo ferramentas que permitem identificar potenciais impactos nos corpos hídricos, ao longo de toda cadeia de suprimentos, promovendo assim, a sustentabilidade.

#### **4.8 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV): uma visão geral**

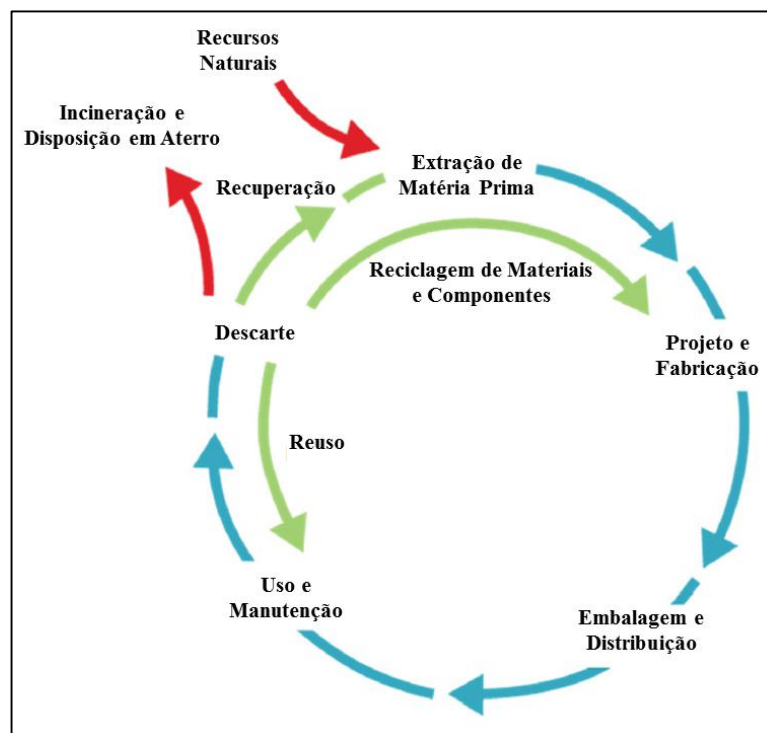
As preocupações com a poluição ambiental e a escassez de recursos energéticos e materiais, motivou o desenvolvimento de abordagens orientadas a ACV para a criação de produtos. Com isso, a ACV experimentou um forte desenvolvimento metodológico e aplicações desde o primeiro ciclo proposto na década de 1960 (Stewart et al., 2018). É definida como uma

ferramenta de avaliação de impactos aos recursos usados ao longo do ciclo de vida de um produto, ou seja, desde a aquisição de matéria-prima até sua gestão de resíduos (ABNT, 2014).

Embora seja um processo complexo, a ACV é utilizada para avaliar o impacto ambiental de bens e serviços a partir da quantificação dos seus fluxos energéticos e materiais utilizados no desenvolvimento de um produto (Giannetti; Almeida, 2006). Os principais objetivos da ACV é o melhoramento ambiental dos processos produtivos e o auxílio na criação de produtos sustentáveis (a exemplo de ecodesign), contribuindo também na formulação de políticas públicas, formando critérios e requisitos para a sustentabilidade (Coelho Filho; Junior; Luedemann, 2016). O aspecto mais importante da ACV em uma sociedade é a promoção de comportamentos alinhados com os princípios da sustentabilidade, buscando o equilíbrio socioeconômico e ambiental, que constitui o pilar do desenvolvimento sustentável (Marzullo; Matai, 2012).

Conforme a Figura 17 a seguir, o ciclo de vida de um produto inicia-se com a extração de matérias-primas, recursos naturais e a geração de energia. Em seguida, ocorrem as etapas de produção, embalagem, distribuição, uso, manutenção e, eventualmente, reciclagem, reutilização, recuperação ou disposição final. Em cada estágio deste ciclo, há potencial para reduzir o consumo de recursos, melhorar o desempenho do produto e minimizar os impactos ambientais (Molin; Hauschild, 2017).

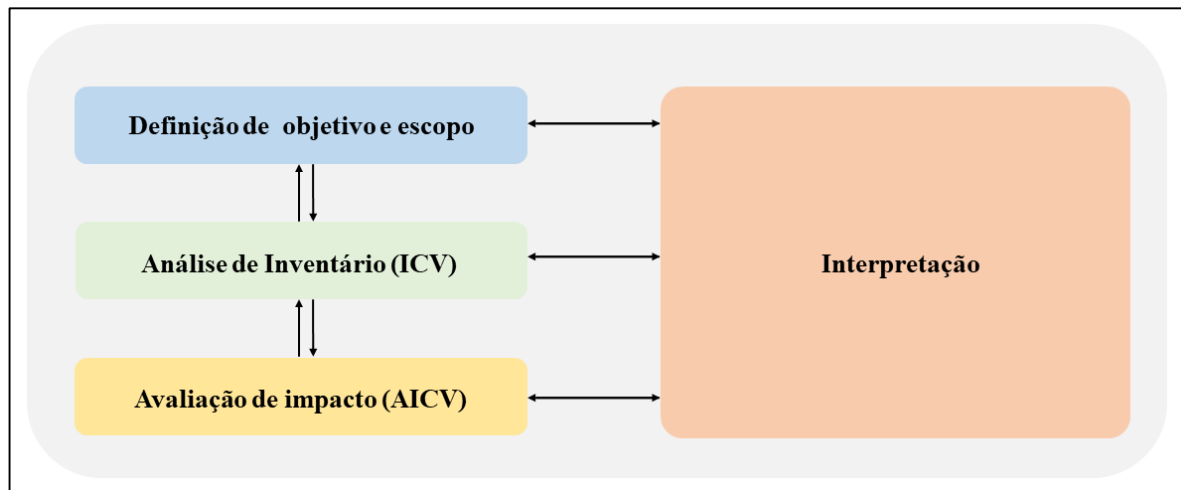
Figura 17 - Diagrama de ciclo de vida de um produto.



Fonte: Adaptado de Life Cycle Initiative (2015).

A versão atual da metodologia engloba quatro fases diferentes normatizadas pela ISO 14040 (ABNT, 2014): definição de objetivo e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação. Os comportamentos entre as fases podem ser observados na Figura 18 a seguir.

Figura 18 - Fases da Avaliação do Ciclo de Vida



Fonte: ABNT ISO NBR 2014.

A aplicação de um estudo de ACV envolve um conjunto de procedimentos para que se alcance os objetivos propostos inicialmente. Estas fases metodológicas se encontram descritas abaixo de acordo com a ABNT ISO 2014.

- **Definição do objetivo do escopo:** identifica os pressupostos, limites e o que se pretende fazer, evidenciando os processos, elementos e atividades relacionados com o produto ou serviço avaliado.
- **Análise de inventário do ciclo de vida (ICV):** identifica, classifica e quantifica os elementos que entram e saem do sistema estudado (energia, materiais, emissões e etc), espera-se que nesta etapa seja elaborada uma tabela de inventário na qual deverá ser listado todos os impactos.
- **Avaliação dos impactos ambientais do ciclo de vida (AICV):** análise detalhada que envolve o produto, serviço, processo ou atividades.
- **Interpretação dos resultados do estudo:** descrição de oportunidades de melhoria ambiental, suas estimativas e comparações de valor sobre os produtos, serviços ou processos do estudo de ACV.

#### 4.8.1 Softwares de ACV

Estudos de ACV requerem de informações sobre as centenas ou milhares de processos e fluxos de entrada e saída estando todos estes processos conectados para serem valorados, assim como softwares específicos (Ciroth, 2012). Segundo Oliveira; Mahler (2018), as ferramentas possuem usos diversos, realizando a modelagem dos elementos do ciclo de vida do produto, assim como o processamento e cálculos, a exemplo do balanço de massa e energia de diferentes produtos.

Ao longo de 20 anos um mercado profissional de softwares voltados a ACV foi estabelecido, existindo sistemas completos e que se complementam entre eles, com ferramentas de códigos abertos e fechados (Ciroth, 2012). Muitos dos já desenvolvidos possuem associação com os bancos de dados e métodos de avaliação de impacto ambiental, os softwares mais utilizados são SimaPro, GaBi, Umberto e openLCA (oliveira, 2017). Apresentados no quadro 2 a seguir adaptado de Oliveira; Mahler (2018).

Quadro 2 - Principais softwares utilizados na Avaliação do Ciclo de Vida.

<b>Nome</b>	<b>Tipo de ferramenta</b>	<b>Tipos de licenças</b>	<b>Fonte ou Endereço do site na internet</b>
GaBi	Software com base de dados própria e mais de 25 anos no mercado, voltado para profissionais de ACV com mais de 10 mil usuários de vários setores.	Profissional e/ou comercial (licenciamento pago).	<a href="http://www.gabi.sphera.com/index">http://www.gabi.sphera.com/index</a> .
openLCA	Software livre de modelagem, cálculos e avaliação do ciclo de vida de produtos. Oferece várias opções de importações e exportação de dados. Possuindo também um módulo de conversão de formato de dados relevante, capaz de converter dados de um formato para outro.	Gratuita	<a href="https://www.openlca.org/openlca/">https://www.openlca.org/openlca/</a>
SimaPro	É um pacote de software voltado para a ACV existente há 25 anos. É bastante usado por profissionais da indústria e acadêmicos.	Profissional e/ou comercial (licenciamento pago).	<a href="https://simapro.com/">https://simapro.com/</a>
Umberto	É um dos mais completos disponível no mercado. É constituído por quatro módulos/ versões distintas no qual dois	Profissional e/ou comercial	<a href="https://www.ifu.com/umberto/">https://www.ifu.com/umberto/</a>

	deles são voltados para a eficiência do desempenho de projetos não necessariamente voltados a ACV e dois diretamente relacionados.	(licenciamento pago).	
--	--	-----------------------	--

Fonte: Adaptado de Oliveira; Mahler (2018).

Em constante evolução tecnológica, já existe outros diversos softwares/ ferramentas com a finalidade de quantificar a ACV elaborados por diferentes pesquisadores ao redor do globo terrestre. A maioria destes softwares suportam as fases de avaliação de impactos e do inventário do ciclo de vida – ICV, onde os dados de entrada e saídas relevantes são coletados e convertidos em estimativas dos impactos ambientais (Speck et al., 2015).

#### 4.8.2 Base dados da ACV

A crescente demanda de informações sobre o ciclo de vida se deram a partir do início da década de 1990, com o crescimento dos bancos de dados da ACV. Estas fontes de dados vieram principalmente do nordeste da Ásia, América do Norte e Europa Ocidental, no qual, diversos produtos e serviços são provenientes dos muitos países destes continentes (Curran, 2012).

Um banco de dados, geralmente visa fornecer uma modelagem coerente e consistente, permitindo que os usuários utilizem diferentes conjuntos de dados no banco de dados apropriado, estando diretamente ligado ao objetivo e escopo do estudo de caso da pesquisa (Ciroth; Burhan, 2021). Geralmente os softwares utilizam uma base de dados específica do próprio software ou do mesmo fornecedor e em alguns casos não suportam uma base que não seja própria. Os bancos de dados da ACV, fornecem principalmente dados de ICV embora a caracterização dos fatores associados aos métodos AICV são muitas vezes também incluídos (Oliveira; Mahler, 2018; Curran, 2012).

As bases de dados são geradas ou atualizadas durante a fase de ICV. Os tipos de bases da ACV se diferem em padrões, contendo registros sobre metodologias, métodos de cálculos e outros recursos padronizados e de configuração. As bases de dados externas são adquiridas de fornecedores ou concedidas com autorização de uso por organismos externos. As complementares, são bases criadas com o objetivo de separar ou segregar determinados conjuntos de dados para propósitos específicos (Oliveira; Mahler, 2018).

O maior problema com os dados nos estudos de ACV é encontrar uma base de dados confiável e que atenda a necessidade do usuário, indo da portabilidade e conversibilidade do

formato das bases de dados. No quadro 3 a seguir é possível observar as principais bases de dados.

Quadro 3 - Bases de dados Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

Nome	País	Número de <i>datasets</i>
AGRIBALYSE	França	2517 (v3.1)
Agri-Footprint	Países baixos	4800 (v6.3)
Banco Nacional de Inventários do Ciclo de Vida (SICV)	Brasil	34
Ecoinvent	Suíça	20,000 (v3.10)
GaBi LCA Databases	Alemanha	18,000 (2024)
Inventory Database for environmental Analysis (IDEA)	Japão	3800 (v2)
Eora	Global	2720 (2024)
Exiobase	Global	9800 (v3.4)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Ciroth; Burhan, 2021, os bancos de dados constituem a base para os estudos de ACV, porém a criação e manutenção destes bancos, exigem grande esforço devido sua complexidade. Para o Brasil, a base de dados SICV está em constante atualização, com exigentes requisitos de qualidade para integração no sistema (Rodrigues et al., 2016).

#### 4.9 Contextualização da bacia hidrográfica do São Francisco (BHSF)

A história do São Francisco é repleta de diversas lendas e mitos que compõem um dos mais belos imaginários da cultura popular brasileira, pode ser contada em intermédio das nações indígenas e comunidades ribeirinhas no qual habitaram/habitam suas margens, sendo batizado por nossos ancestrais indígenas como rio “*Opará*”, que quer dizer “rio mar” (Brasil, 2005; Silva, 2017).

Descoberto em 1502, o rio São Francisco possui um significado histórico na consolidação do território brasileiro e recebeu o título de rio da integração nacional devido sua extensão e ligação entre o Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste (Castro; Pereira, 2017). Nasce na serra da Canastra, em Minas Gerais e percorre cerca de 2.700 km, escoando entre o sentido sul-norte pelos estados da Bahia e Pernambuco, desaguando no oceano Atlântico em sua foz, localizada entre Alagoas e Sergipe (Silva, 2016).

Sua extensão perpassa por diferentes ambientes, com sua bacia dividida em quatro regiões – Alto São Francisco: das nascentes até a cidade de Pirapora (111.804 km<sup>2</sup> - 17,5% da região); Médio São Francisco: de Pirapora até Remanso (339.763 km<sup>2</sup> - 53% da região);

Submédio São Francisco: de Remanso até Paulo Afonso (155.637 km<sup>2</sup> - 24,4%); e Baixo São Francisco: de Paulo Afonso até sua foz (32.013 km<sup>2</sup> - 5,1% da região). Cerca de 9,5% da população nacional (16,14 milhões de pessoa) habitam a bacia do São Francisco no qual sua maior concentração se encontra no Alto (56%), e no médio (24%), com 77% da população total presente em área urbana (Castro; Pereira, 2017; CBHSF, 2016).

Predominantemente, o uso do solo na bacia é destinado a estabelecimentos agropecuários (cerca de 57% da área) e em todas as regiões fisiográficas, com exceção do Baixo São Francisco, onde 53% é ocupada por pastagens. Socioeconomicamente falando, o PIB da bacia do São Francisco era avaliado em quase 250 bilhões de reais em 2012, segundo o IBGE (2015), no qual corresponde a 5,7% da riqueza total gerada pela República Federativa neste ano (CBHSF, 2016).

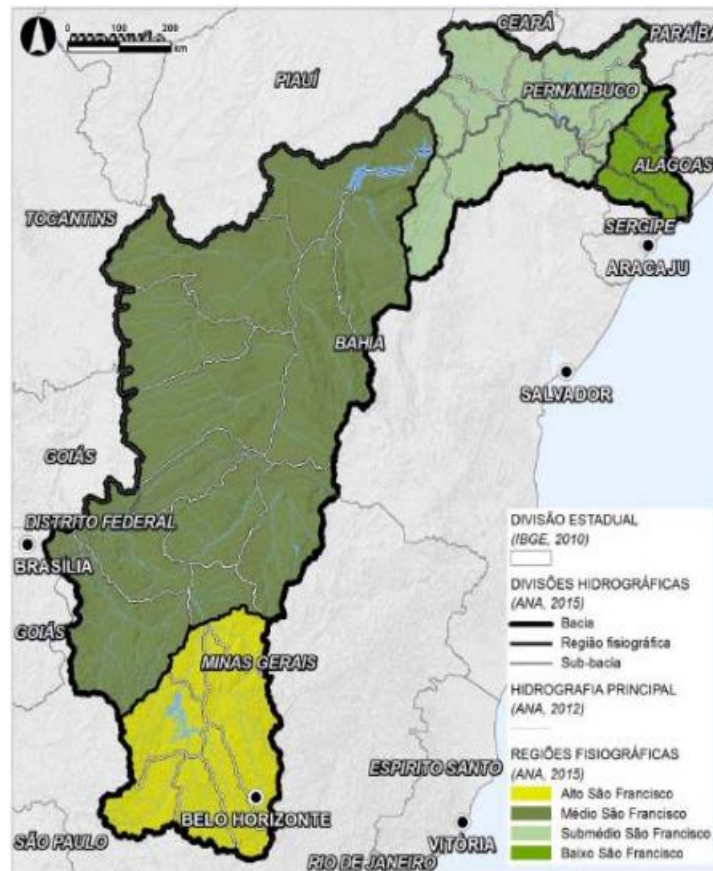
Segundo dados do Censo Agropecuário, existiam cerca de 630 mil estabelecimentos dedicados a atividades agrícolas e pecuários em 2002, no qual ocupam uma área de mais de 30 milhões de hectares onde dois terços destes estabelecimentos situavam-se na região do Médio São Francisco (62,9%) (CBHSF, 2016).

O patrimônio natural do São Francisco é caracterizado pela sua diversidade geológica (geossítios repartidos pelo Alto, Médio e Submédio São Francisco) e geomorfológica diversa, aliada a uma evolução complexa dos sistemas naturais que refletem um conjunto de pontos geoturísticos. Já seu patrimônio cultural apresenta um grande número de registros e tombamentos ao longo das unidades federativas (358 tombamentos), correspondendo a edificações, acervos, conjuntos urbanos/ rurais e paisagens naturais (CBHSF, 2016).

O rio São Francisco é extremamente importante para a geração de energia elétrica na região Nordeste, estudos voltados para esta prática se iniciaram no século XIX e em 1890 foi sancionado o Decreto nº 1.118 no qual foi dada a João José do Monte o direito da exploração de hidroeletricidade no rio São Francisco e no ano de 1904, o Decreto nº 5.407 regulamentou o aproveitamento e a transformação da energia hidráulica no governo de Rodrigues Alves, sendo este, um dos marcos iniciais nos usos múltiplos desta bacia hidrográfica (Silva, 2016).

Dentre suas regiões fisiográficas, destaca-se aqui o baixo São Francisco na Figura 19 a seguir, caracterizado por apresentar grandes períodos de seca prolongadas, resultado da baixa pluviosidade e da alta evapotranspiração local, possui em sua totalidade uma grande área de zona semiárida, fazendo com que o rio São Francisco desempenhe um papel de extrema importância na região que conta com uma população de quase um milhão e meio de habitantes (ANA, 2015).

Figura 19 - Regiões fisiográficas da Bacia Hidrográfica do São Francisco.



Fonte: CBHSF (2016).

De acordo com Netter et al. (2020), trata-se de uma região que recebe significativos investimentos tanto de empresas estatais quanto da iniciativa privada, destacando-se pelos perímetros irrigados voltados à agricultura e pela forte presença do setor hidrelétrico na geração de energia. Este último constitui um dos principais desafios para as comunidades ribeirinhas, em função das alterações nas dinâmicas e características físicas dos rios, resultantes do fim dos ciclos naturais (Nascimento, 2013).

A região é notável pela produção em larga escala de cana-de-açúcar e arroz, além de possuir extensas áreas de pastagens. No entanto, a presença de inúmeros barramentos ao longo do curso do rio, intensificou os conflitos relacionados ao uso da água, afetando diretamente as populações ribeirinhas do sub-médio e baixo São Francisco. Esses impactos configuram-se como problemas socioambientais e econômicos prejudiciais aos cultivos dependentes da vazão do rio, em consequência das operações das grandes barragens (IBGE, 2014; Nascimento, 2013).

## 5 Produção de arroz no mundo e no Brasil

Há indícios que o cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) teve início com a civilização asiática entre 8.000 e 9.000 anos atrás e é o cereal mais consumido no planeta. É uma das principais culturas que alimentam a população mundial, possuindo extrema importância na África e no sul da Ásia, tendo como resultado grandes projetos de irrigação construídos para atender a demanda de água na produção deste grão, se junta ao milho e trigo como os três principais cereais de maior importância para alimentação humana, consumido por mais da metade da população mundial (Aldaya et al., 2010; Callaway, 2016; Aswin; Asben; Nazir, 2023).

Os recursos hídricos na produção agrícola em países como a Coreia foram fortemente utilizados a partir da década de 70, buscando alcançar a estabilidade e sustentabilidade na produção de arroz que carece de uma alta demanda de água e que consome grande parte da disponibilidade hídrica doce do país (Yoo et al., 2014). Na Índia o arroz possui grande valor econômico, sendo o maior produtor a nível global, com cerca de 22% da produção mundial, afetando diretamente os recursos disponíveis de água nesta região, carecendo de um planejamento de uso diante do aumento da demanda de alimentos, garantindo a segurança alimentar da população (Mom, 2007; Gheewala et al., 2014).

A área cultivada de arroz irrigado no Brasil atinge aproximadamente 1,3 milhões de hectares por ano com uma produção de 7,5 milhões de toneladas de arroz com casca (Fao, 2015; Andrade, 2016). Em solo brasileiro, dois tipos de produção são considerados, o de várzeas no qual a cultura é irrigada por inundação controlada, e o de terras altas que engloba o cultivo com irrigação suplementar, por aspersão e sequeiro (Wander, Silva e Ferreira, 2021; Monteiro et al., 2009). Os sistemas possuem diversas modalidades de plantio e variações nos arranjos produtivos, conforme observado na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Modalidades e variações de arranjos produtivos do cultivo do arroz.

<b>Estado/Localidade</b>	<b>Sistema</b>
Alagoas (Baixo São Francisco)	- Terras altas; - Irrigado em áreas encharcadas com lâmina d'água; irrigado com controle de água; - Irrigado sem controle de água nas vazantes, aproveitando o movimento das águas dos rios.
Maranhão	- Terras altas no sistema de derrubada-queima-pousio; - Terras altas mecanizado; - Irrigado com lâmina permanente; - Irrigado com lâmina intermitente e em vazante sem controle da lâmina d'água e com mais de um transplântio ao longo do ciclo.
Goiás	- Terras altas; - Irrigado em várzeas sistematizadas; - Irrigado em tabuleiros sistematizados; - Irrigado por aspersão (pivôs-centrais).
Tocantins	- Terras altas; - Irrigado por inundação em várzeas sistematizadas.
Mato Grosso	- Terras altas em abertura de áreas;

	- Terras altas em rotação com outros grãos no sistema plantio direto e em renovação de pastagem; - Terras altas em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta; - Terras altas na safrinha; - Irrigado por aspersão (pivôs-centrais).
Mato Grosso do Sul	- Irrigado por inundação em várzeas sistematizadas
Rio Grande do Sul	- Irrigado convencional; - Irrigado cultivo mínimo; - Irrigado plantio direto; - Irrigado pré-germinado, sistema por transplante; - Irrigado em rotação com soja.
Santa Catarina	- Irrigado convencional; - Irrigado cultivo mínimo; - Irrigado plantio direto; - Irrigado pré-germinado.

Fonte: Wander, Silva e Ferreira (2021).

A área cultivada de arroz irrigado no Brasil atinge aproximadamente 1,3 milhões de hectares anualmente, possuindo uma produtividade média de 5200 ha, com produção de 7,5 milhões de toneladas de arroz com casca (Andrade, 2016). Segundo Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), para atender o crescimento da demanda de alimentos ocasionado pelo aumento populacional, deverá ocorrer um aumento na produção deste cereal nos próximos 25 anos, sendo importante culturalmente para diversos povos (FAO, 2015).

Segundo a FAO (2020), a produção mundial de arroz com casca de 2015 a 2017 foi de 757 milhões de toneladas, colhidos em 165 milhões de hectares e dentre os 10 principais produtores de arroz a nível global, o Brasil ocupa a 9ª posição, se destacando como único país localizado fora da Ásia a integrar a lista conforme Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Lista dos maiores produtores de arroz mundial.

Classificação	País	Produção (t)	Participação (28%)
1	China	211.970.667	28
2	Índia	162.913.333	21,52
3	Indonésia	78.711.614	10,4
4	Bangladesh	50.412.777	6,66
5	Vietnã	43.655.418	5,77
6	Tailândia	29.246.189	3,86
7	Myanmar	25.835.005	3,41
8	Filipinas	18.351.143	2,42
9	Brasil	11.797.635	1,56
10	Paquistão	10.550.013	1,39
Demais países		113.606.524	15,01
Total		757.051.318	100

Fonte: Adaptado da FAO (2020).

De maneira geral, o arroz é consumido diariamente na refeição principal, o almoço, e garantido a mesa no jantar, estando relacionado a aspectos culturais da nossa sociedade, formando juntamente com o feijão, o prato básico brasileiro, se firmando a partir do final do século 19 como símbolo da alimentação nacional (Sousa e Ferreira, 2021).

### 5.1 Atividade da rizicultura no baixo São Francisco

A região do BSF estende-se desde Paulo Afonso (BA) até o Oceano Atlântico no qual abrange aproximadamente 33.000 km<sup>2</sup> e inclui 47 municípios dos estados de Alagoas e Sergipe, respectivamente às margens esquerda e direita do rio (Góis; Paiva; Tavares, 1992). Através do Decreto Estadual nº 24.338 de 20 de abril de 2007 foi criado o território do baixo São Francisco Sergipano, formado por quatorze municípios (Amparo de São Francisco, Brejo Grande, Canhoba, Cedro de São João, Ilha das Flores, Japoatã, Malhada dos Bois, Muribeca, Neópolis, Pacatuba, Propriá, Santana do São Francisco, São Francisco, Telha), no qual se constitui como uma unidade de planejamento do Estado de Sergipe, base para promoção do desenvolvimento sustentável e equânime entre as regiões do estudo e lugar da ação do Planejamento Participativo (PP) (SERGIPE, 2008).

Esta região vem apresentando nos últimos anos um nível de degradação ambiental significativo, implicando na redução de atividade socioeconômicas, anteriormente mais dinâmicas, recepcionada por todas as más ações ou intervenções não corretas que ocorrem ou ocorreram ao longo de suas sub-bacias (Oliveira; França; Castaneda, 2005).

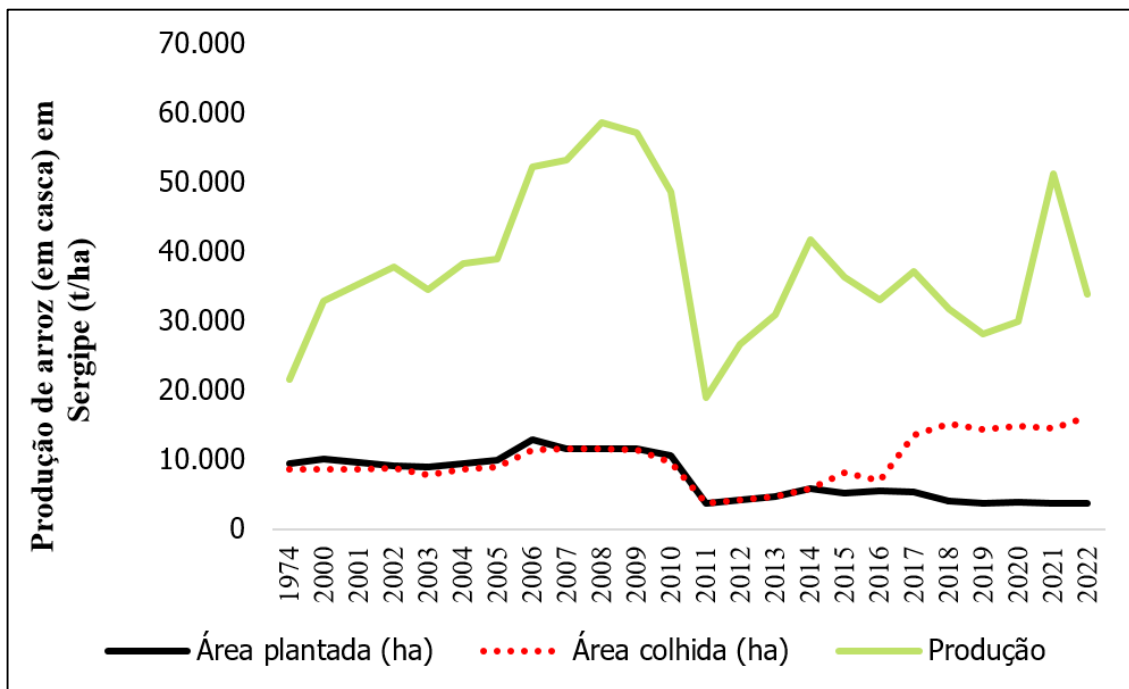
Dentre os usos múltiplos da água, destaca-se a utilização para fins de irrigação para a rizicultura, sendo esta, uma das atividades mais importantes na formação econômica da região, desenvolvida por pequenos produtores concentrados tanto em áreas inundáveis nos perímetros irrigados, como nas terras baixas suscetíveis às inundações (SERGIPE, 2008).

Existe três sistemas de cultivos de arroz na região do BSF, sendo o primeiro em áreas não irrigadas, mas que encharcam e formam a lâmina d'água após as chuvas, denominadas de "sequeiro". O segundo são os sistemas irrigados que envolvem o controle de água, sendo este o mais expressivo devido o controle de entrada e saída e o último, dependente das cheias das águas do rio na região, porém em decadência atualmente, sendo o município de Brejo Grande a exceção, possuindo uma área considerável de arroz devido à elevação da maré que entra nas lagoas (Rabelo et al., 2013).

O cultivo no Estado de Sergipe não se difere do encontrado na região do baixo São Francisco alagoano, possuindo a captação de águas do rio a partir do bombeamento assim como aproveitando épocas de cheias por meio do movimento das águas do rio.

O desenvolvimento desta atividade está diretamente ligado a atuação da CODEVASF, ligada ao Ministério da Integração Nacional no qual a construção de barragens foi o grande fator modificador desta cadeia orizícola na região. Em números, Ilha das Flores (11.267 ton) ocupou a sexta posição no ranking nacional em rendimento médio, seguido por Neópolis (6.249 ton), Propriá (6.233 ton) e Brejo Grande (5.350 ton), correspondendo a grande parte de toda produção estadual (Rabelo et al., 2013; SERGIPE, 2018). O cultivo vem sofrendo quedas constantes ao longo dos anos, como é possível observar na Figura 20 a seguir.

Figura 20 - Área, produção e produtividade de arroz no Estado de Sergipe no período de 1974 a 2022.



**Fonte:** Elaborado pelo autor com dados do IBGE.

O maior produtor de arroz do Brasil é o Estado do Rio Grande do Sul no qual corresponde a 61,5% de toda produção nacional. O Nordeste configura cerca de 8,7% da produção brasileira. O Estado de Sergipe possui uma produção regional em torno de 57,2 mil toneladas, ocupando o 5º lugar regional (EMDAGRO, 2020). Esta produção concentra-se em quatro municípios: Propriá, Ilha das Flores, Brejo Grande e Neópolis que juntos atualmente representam 80,2% da produção estadual. Porém, a única fábrica de beneficiamento em funcionamento na região está localizada na cidade de Telha – SE que corresponde a 7,3% de toda produção estadual em 2018 conforme Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 – Principais produtores de arroz em Sergipe

Municípios	Média produção (T)	
	2018	%
Própria	3.723	12%
Ilha das Flores	15.212	48%
Brejo Grande	493	2%
Neópolis	9.439	30%
Pacatuba	1.688	5%
Telha	639	2%
Cedro de São João	449	1%
Japoatã	94	0%
<b>SERGIPE</b>	<b>47.571</b>	<b>98,8</b>

Fonte: Observatório de Sergipe (2018).

Mediante o exposto, o cultivo de arroz é a principal fonte de renda das famílias na região do BSF, sendo o cultivo mais produzido e comercializados utilizando de canais de irrigação que captam diretamente do rio São Francisco (Navas; Netter; Filho, 2020). E devido ao uso de produtos agroquímicos nas plantações, a qualidade da água vem sendo impactada, como evidência Britto et al., (2016) no qual analisou a qualidade da água no perímetro irrigado betume e encontrou alterações antrópicas relacionadas aos usos contínuos de fertilizantes no qual carece de um manejo racional para garantir a continuidade e permanência dos produtores na região.

**CAPÍTULO II**  
**(PERCURSO METODOLÓGICO)**

## 6 METODOLOGIA

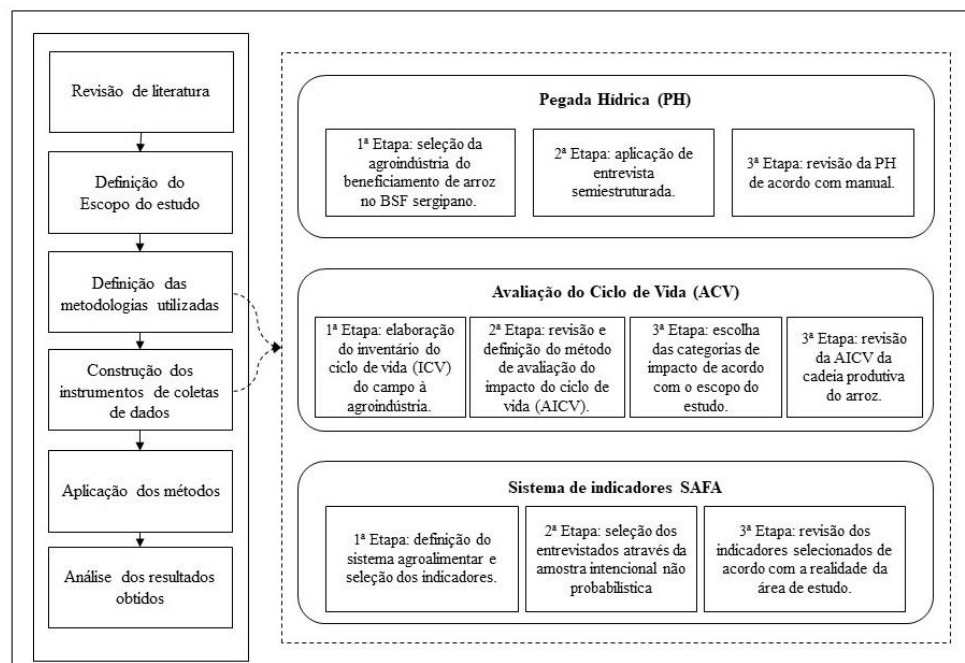
### 6. Método e Abordagem da Pesquisa

O método é um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que permite o alcance do objetivo de estudo, detectando erros e auxiliando em decisões, não há ciência sem o emprego do método (Markoni; Lakatos, 2017). No desenvolvimento desta pesquisa, o método empregado foi o Hipotético-Dedutivo, no qual precede a observação a partir de um problema e de uma hipótese, sendo necessária sua verificação para confirmar ou refutar as hipóteses levantadas.

O método Hipotético-Dedutivo, proposto por Karl Popper sugere a busca de soluções por meio de tentativas (conjecturas, hipóteses, teorias) e a subsequente eliminação de erros. Segundo Popper, toda investigação científica se origina de um problema prático ou teórico, emergiu das discussões entre o indutivo e dedutivo (Oliveira *et al.*, 2018).

A abordagem metodológica adotada é de natureza quali-quantitativa, caracterizando-se como descritiva ao registrar e descrever os fatos observados sem interferência externa, utilizando técnicas padronizadas para a coleta de dados. Possuindo também o caráter exploratório, uma vez que emprega um pequeno número de unidades de análise, dispensando o uso de técnicas probabilísticas de amostragem, permitindo a investigação e delineamento dos fenômenos estudados (Prodanov; Freitas, 2013; Marconi; Lakatos, 2017). A estrutura da pesquisa está apresentada na Figura 21 abaixo:

Figura 21 - Esquema representativo dos procedimentos metodológicos



Fonte: Adaptado de Câmara (2020).

Inicialmente foi realizada uma busca de teses, dissertações e artigos científicos na base dados do Google Scholar, Periódicos Capes, *The Directory of Open Access Journals* (DOAJ), Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), rede mundial de *Water footprint Network*, assim como livros físicos e digitais dentro das temáticas propostas. Os seguintes buscadores utilizados foram: Pegada Hídrica Industrial; *Water footprint industrial*; Avaliação do Ciclo de Vida; *Life Cycle Assessment*, Sistema SAFA FAO; *FAO SAFA SYSTEM*; Sistemas Agroindustriais. Este levantamento serviu como base para definição dos métodos utilizados, assim como, o vislumbre de suas aplicações a sistemas agrícolas e agroindustriais.

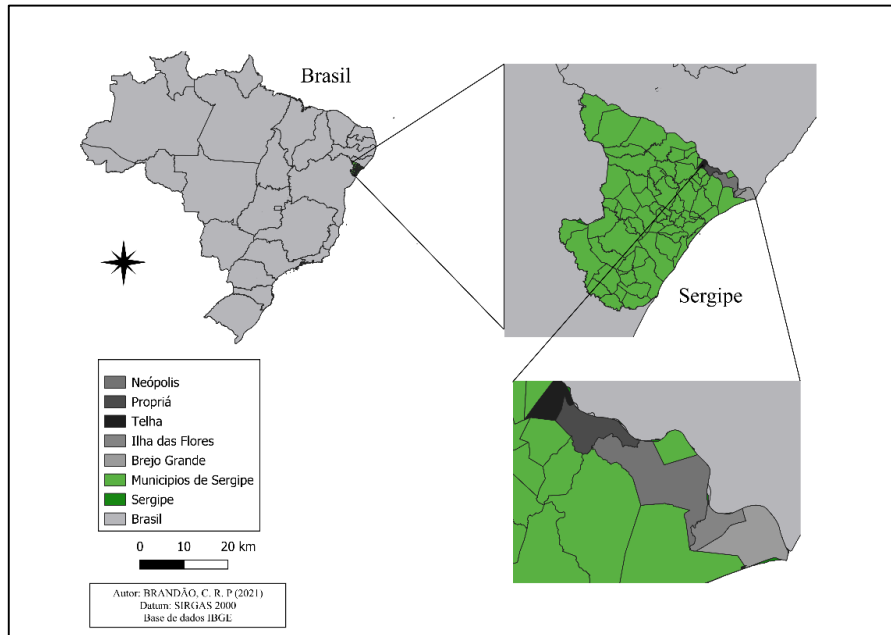
Em seguida foi definido o escopo do estudo, com a definição da área de pesquisa que abrange os produtores de arroz da região do BSF, assim com a agroindústria beneficiadora apresentada abaixo. Para a construção dos instrumentos de coleta de dados foi levado em consideração o objetivo da pesquisa, elaborando entrevistas semiestruturadas para aplicação com *stakeholders*, para levantamento do inventário do ICV do cultivo e ponderação dos indicadores agroalimentar *in loco*, possibilitando a inserção dos dados no software OpenLCA 2.11 e SAFA FAO 1.11, necessários na modelagem dos dados aqui apresentados, se encontrando presentes nos anexos e apêndices da tese.

Os métodos utilizados estão descritos nas sessões seguintes e os dados levantados foram analisados através do método CML *baseline* de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV) para o ciclo de vida da cadeia produtiva, a Pegada Hídrica agroindustrial do arroz de acordo com o manual da Pegada Hídrica e os indicadores de sustentabilidade do sistema SAFA de acordo com o guia da FAO, os principais resultados encontrados e sua interpretação foram utilizados na elaboração da cartilha informativa.

## **6.2 Recorte espacial do estudo**

O levantamento de dados foi realizado nos municípios produtores de arroz no BSF, sendo estes, Brejo Grande, Neópolis, Propriá, Ilha das Flores e Telha localizados no BSF sergipano (Figura 22), juntos ocupam uma área total de 603,041km<sup>2</sup>, com um PIB somado de 76.310,48 R\$ e população estimada em 94,601 habitantes (IBGE, 2020).

Figura 22 - Localização dos municípios produtores de arroz no BSF.



Organização: Camilo Rafael Pereira Brandão, 2024.

A região do BSF sergipano possui uma média pluviométrica anual de 800mm à 1555mm, temperaturas médias entre 26°C e 27°C, com clima caracterizado como úmido e sub-úmido (CODEVASF, 2005).

### 6.3 Escopo do Estudo

O estudo foi realizado nos municípios citados anteriormente, destacando a aplicação dos indicadores SAFA com os rizicultores, a Pegada Hídrica industrial em uma agroindústria de beneficiamento do grão localizada na cidade de Telha – SE e, a Avaliação do Ciclo de Vida em toda cadeia produtiva do arroz no BSF, como demonstrado na Figura 23.

Figura 23 – Etapas de aplicação das metodologias de acordo com o escopo do estudo.



Fonte: Brandão (2024).

A etapa de ACV consistiu em toda a cadeia produtiva do arroz, assim como demonstrada na figura acima. A PH foi aplicada a nível agroindustrial, do beneficiamento do grão e consumo de água na empresa. Os indicadores SAFA foram aplicados com os *stakeholders* a partir de uma amostra intencional não probalística, proporcionando uma visão abrangente a respeito do objeto do estudo.

#### 6.4 Caracterização e quantificação da Pegada Hídrica Industrial

A caracterização da agroindústria do arroz foi realizada através de um *checklist* (Anexo I) aplicado durante visitas na região com informações referentes a estrutura e funcionamento da agroindústria. Para quantificar a PH da agroindústria, inicialmente foi realizada a PH do processo, formada pela soma da  $PH_{azul}$  e  $PH_{cinza}$  e é a base para formulação de todas as PH (Tabela 5). Para obtenção da  $PH_{azul}$ , foram coletados durante os meses de beneficiamento do arroz o volume total de água adquirido pelo sistema da Companhia de Saneamento de Sergipe – DESO com divisão do quantitativo de água utilizado na caldeira dividido pelos meses estudados. A  $PH_{cinza}$  segue a recomendação da NBR 9649/1986 no qual instrui adotar o valor de 80% do volume captado, como valor de coeficiente de retorno, sendo feito quando existe ausência do valor preciso (ABNT, 1986).

Tabela 5 - Dados utilizados para elaboração da Pegada Hídrica do processo.

<b>PEGADA HÍDRICA DO PROCESSO</b>	
<b>Dados</b>	<b>Fontes</b>
Pegada Hídrica Azul ( $PH_{azul}$ )	Leitura do Hidrômetro mensal
Pegada Hídrica Cinza ( $PH_{cinza}$ )	NBR 9649/1986;
<b>Equação</b>	
$PH_{proc} = PH_{azul} + PH_{cinza} \text{ (volume/tempo)}$ (1)	
<b>PEGADA HÍDRICA AZUL (<math>PH_{azul}</math>)</b>	
Volume de água captada ( $Vol_{cap}$ )	Leitura do Hidrômetro
Volume do efluente ( $Vol_{efl}$ )	80% do vol. captado (NBR9649)
<b>Equação</b>	
$PH_{azul} = Vol_{cap} - Vol_{efl} \text{ (volume/tempo)}$ (2)	
<b>PEGADA HÍDRICA CINZA (<math>PH_{cinza}</math>)</b>	
Volume de água captada	Leitura do Hidrômetro mensal
Concentração de um poluente na água	Brandão (2015) ( $C_{cap}$ )
Volume do efluente	80% do vol. captado (NBR 9649) ( $E_{fl}$ )

Concentração de um poluente no efluente	Nitrogênio amoniacal total 1,0 mg/L N, para pH > 8,5 (CONAMA N° 357) (C <sub>elf</sub> )
Concentração máxima aceitável	DBO até 5 mg/L (CONAMA N° 430) (C <sub>max</sub> )
Concentração natural em um corpo hídrico	DBO 2 mg/L (CONAMA N° 430) (C <sub>nat</sub> )

**Equação**

$$PH_{cinza} = \frac{(E_{fl} - C_{efl}) - (Cap. \cdot C_{cap})}{(C_{max} - C_{nat})} (volume/tempo) \quad (3)$$

Fonte: Adaptado de SANTOS (2020); Hoekstra et al., (2011).

Para elaboração da PH da empresa e do beneficiamento do arroz, foi realizado o cálculo da PH da unidade de uma empresa (PH<sub>emp</sub> volume/tempo), através da soma da PH operacional da unidade com a PH da cadeia produtiva. A metodologia proposta por Hoekstra et al., (2011) foi utilizada para contabilizar estas PH's, sendo considerada apenas a PH<sub>azul</sub> e PH<sub>cinza</sub> para a fase do processo industrial.

O período de coleta de dados foi em época de beneficiamento que equivale a abril de 2021 a maio de 2022. A PH do processo (Tabela 6) utilizou dados de consumo de água mensais obtidos *in loco*. A PH do arroz com casca considerou toda a contabilização da PH<sub>verde</sub>, PH<sub>azul</sub> e PH<sub>cinza</sub> de fase agrícola da rizicultura no BSF de acordo com o estudo realizado pelos autores Brandão; Sousa (2023), no perímetro irrigado Betume, localizado na cidade de Neópolis, da semeadura até a colheita dos grãos. A PH da energia teve como base o consumo de eletricidade nos meses de beneficiamento dos grãos obtidos.

Tabela 6 - Dados necessários para elaboração da PH empresarial.

<b>PEGADA HÍDRICA DA EMPRESA (PH<sub>emp</sub>)</b>	
<b>Dados</b>	<b>Fontes</b>
Pegada Hídrica Operacional (PH <sub>oper</sub> )	PH do Processo
Pegada Hídrica da Cadeia de Sup. (PH <sub>cad</sub> )	PH do arroz com casca; PH da Energia
<b>Equação</b>	
$PH_{emp} = PH_{oper} + PH_{cad} (volume/tempo)$ (4)	
<b>PEGADA HÍDRICA OPERACIONAL (PH<sub>oper</sub>)</b>	
Pegada Hídrica do Processo	PH <sub>azul</sub> + PH <sub>cinza</sub> (mensal)
<b>Equação</b>	
$PH_{oper} = PH_{proc} (PH_{azul} + PH_{cinza}) (volume/tempo)$ (5)	
<b>PEGADA HÍDRICA DA CADEIA DE SUPRIMENTOS (PH<sub>cad</sub>)</b>	
Pegada Hídrica do Arroz (PH <sub>arroz</sub> )	Vol. consumido pela empresa;
Pegada Hídrica da Energia (PH <sub>energ</sub> )	GJ consumido pela empresa;

<b>Equação</b>	
$PH_{cinza} = PH_{arroz} + PH_{ener} \text{ (volume/tempo)}$	(6)
Fonte: Adaptado de SANTOS (2020); Hoekstra et al., (2011).	

Os dados foram tabulados em planilhas eletrônicas e as unidades de medidas de consumo de água foram padronizadas em m<sup>3</sup>. mês<sup>-1</sup>, o arroz com casca em ton.mês<sup>-1</sup> e a energia de kWh para GJ. Os dados de consumo de energia foram obtidos a partir dos talões dos valores cobrados pela concessionária ENERGISA de fornecimento de energia para a empresa.

Como a empresa em questão só trabalha com um único produto, sua contabilização está descrita na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados necessários para elaboração da PH do produto

<b>PEGADA HÍDRICA DO PRODUTO (PH<sub>prod</sub>)</b>	
<b>Dados</b>	<b>Fontes</b>
PH <sub>prod</sub>	Dados empíricos
PH <sub>emp</sub>	Dados empíricos
Vol. Produto final da empresa     [P]	Empresa
<b>Equação</b>	
$PH_{prod}[p] = \frac{PH_{emp}}{P[p]}$	

Fonte: Hoekstra *et al.*, (2011).

O cálculo da PH de uma empresa oferece uma nova perspectiva para o desenvolvimento de estratégias corporativas informativa sobre o uso da água. Isto se deve ao fato de que a PH, como indicador do uso da água, difere do indicador de ‘captação de água nas operações’, adotado pela maioria das empresas até o momento.

### 6.5 Avaliação do ciclo de vida (ACV)

A elaboração da ACV foi realizada seguindo as normas de elaboração da ABNT NBR ISO 14040 (2014) e ABNT NBR ISO 14044 (2014), abordando os requisitos e diretrizes da ACV, se baseando em dados primários e secundários. A ACV é uma compilação e avaliação das entradas (*inputs*), saídas (*outputs*) e dos potenciais impactos do sistema de um produto durante todo seu ciclo de vida (ABNT, 2014). A modelagem dos dados foi realizada a partir do software OpenLCA versão 2.11. A base de dados base utilizada foi a Agribalyse 3.0.1, voltada a estudos para a agricultura.

### 6.5.1 Definição de objetivo e escopo da ACV

O objetivo da aplicação da ACV foi avaliar os impactos socioambientais da rizicultura no BSF. O estudo tem como escopo acompanhar o processo de cultivo de arroz desde seu plantio nos perímetros irrigados do BSF sergipano e seu processo de beneficiamento e distribuição.

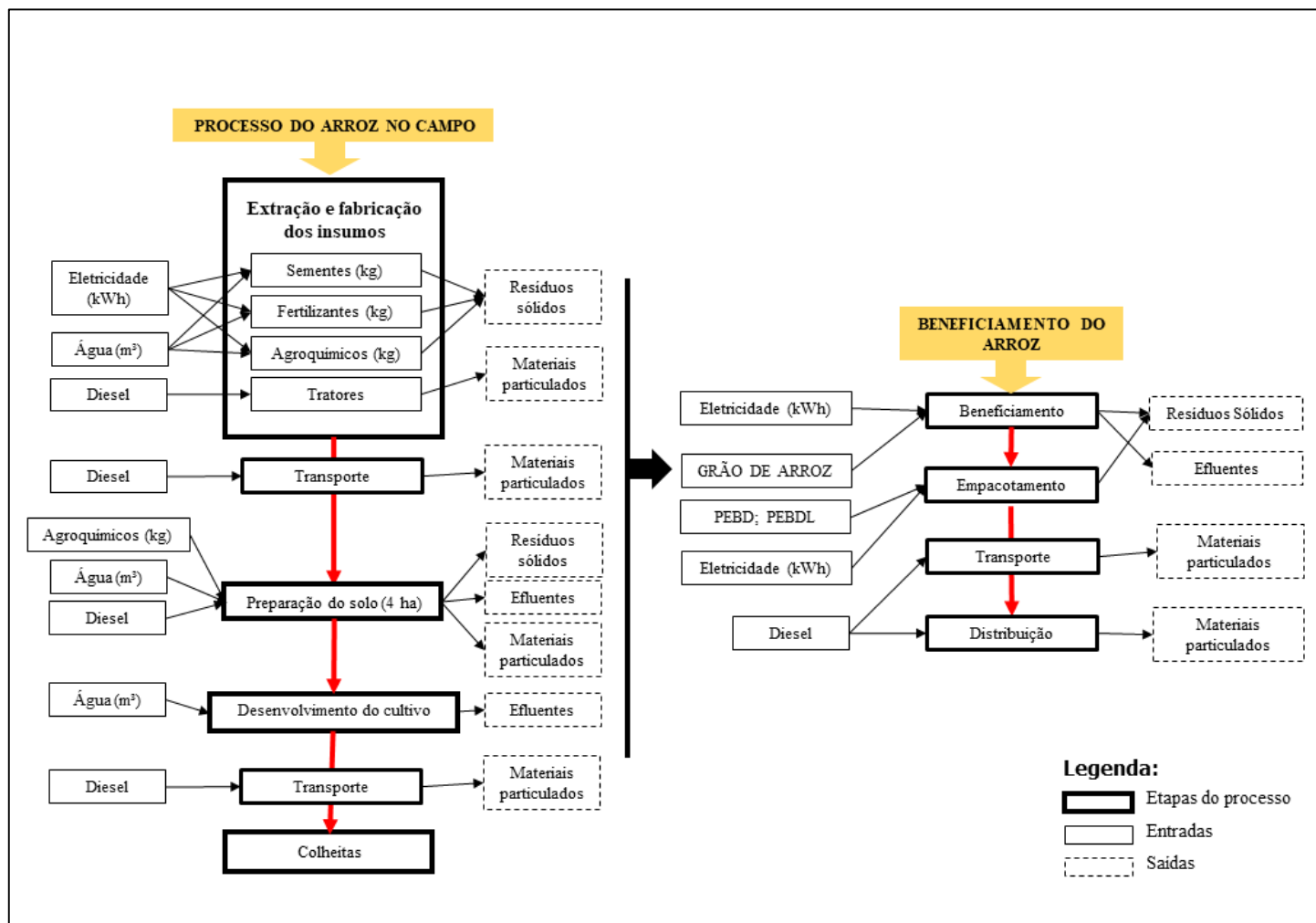
A fronteira do sistema deste estudo é “*cradle-to-gate farm*” ou do “berço ao túmulo” que abrange todas as etapas desde a extração da matéria prima até a fase de comercialização do produto. O limite do sistema do produto compreende as entradas e saídas da atividade no perímetro irrigado e na agroindústria de beneficiamento. Os processos considerados estão descritos no fluxograma de sistema de produtos (Figura 24).

A Unidade Funcional (UF) utilizada neste estudo foi de 1kg. O fluxo de referência é o hectare (ha) de área plantada. A cobertura temporal da coleta de dados quantitativos dos sistemas teve como referência a safra de 2021, sendo beneficiada entre dezembro de 2021 e abril de 2022. A depender da época, é cultivado apenas uma safra anual nos perímetros irrigados da região, aqui foram utilizados dados de duas safras.

Os dados do ICV foram obtidos de forma primária a partir de um diagnóstico do sistema de cultivo (Anexo II) com agricultor do perímetro irrigado Betume, com informações referentes aos insumos utilizados para o plantio e desenvolvimento do cultivo. Os dados sobre beneficiamento do arroz na agroindústria (Anexo III) com o proprietário da Usina estudada, com questões voltadas as entradas saídas do beneficiamento.

A coleta de dados com as entrevistas semiestruturadas foi realizada entre 2022 (novembro e dezembro) e 2023 (janeiro a setembro) devido à impossibilidade de ida a campo ocasionada pela pandemia do COVID-19. Os dados primários compreendem os insumos para o plantio (sementes de arroz), o pré-plantio (herbicidas, fungicidas, mecanização para preparação do solo e combustível), para o plantio (captação de água), para o pós-plantio (herbicidas, fungicidas e eletricidade) e colheita (combustível). Na fase do beneficiamento, os dados primários compreendem o arroz com casca colhido, transporte do campo à indústria (diesel e óleo por época de colheita), eletricidade, água, madeira (eucalipto) e o plástico da embalagem (PEBD, PEBDL).

Figura 24 - Fluxograma de entradas e saídas da rizicultura no baixo São Francisco sergipano



Fonte: Elaborado pelo autor.

### 6.5.2 Elaboração e análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

Todos os dados referentes as entradas e saídas foram contabilizados tendo em vista produção total de hectare. Para a coleta dos dados e construção deste inventário foi considerado todo o ciclo de vida do cultivo do arroz, a partir da sua semeadura até expedição do produto final para distribuição e consumo final. A coleta de dados para construção do ICV, como disposto pela ABNT NBR ISO 14040 (2014) e na ABNT NBR ISO 14044 (2014), que dispõe de informações de entradas e saídas de toda cadeia produtiva do arroz, realizada a partir de visitas *in loco* para descrever o cultivo e beneficiamento do grão de arroz.

Na tabela 8 estão descritos o ICV da cadeia produtiva do arroz. A base de dados utilizada é a Agribalyse 3.0.1, publicada em 2022, que inclui um banco de ICV com mais de 2600 produtos agrícolas alimentares produzidos e consumidos na França utilizando dados confiáveis e adaptáveis para outras realidades, apoiando a rotulagem ambiental baseada na produção e consumo (OpenLCA, 2022).

Para as escolhas dos *inputs* e *outputs* disponíveis no banco de dados do Agribalyse 3.0.1 foi levado em consideração as características do inventário do processo de cultivo e produção na agroindústria.

Tabela 8 – Inventário do Ciclo de Vida do cultivo de arroz sergipano: fluxo de entrada (*Inputs*) e saídas (*Outputs*) do cultivo e beneficiamento.

<i>Inputs</i>						
<b>Processo do Arroz no Campo</b>						
<b>Extração e fabricação dos insumos</b>						
<b>Fluxo</b>	<b>Quant. Total</b>	<b>Quat. R</b>	<b>Um</b>	<b>Provedor</b>		<b>Notas Pedigree</b>
<i>Electricity. low voltage</i>	84.3	0.02	kWh	<i>Electricity. low voltage {BR}  market for   Cut-off. S - Copied from Ecoinvent (Others/ Ecoinvent cut-off S copy)</i>		[1:1:2:2:1:1:2]
<i>Water</i>	247.184.00	58.853.33	m <sup>3</sup>	<i>Water. surface water consumption</i>		[1:1:1:1:1:1:1]
<i>Rice seed</i>	500	0.011	Kg	<i>Rice seed. at regional storehouse (WFLDB 3.1) – GLO</i>		[1:1:1:1:1:1:1]
<b>Preparação do solo e desenvolvimento do cultivo</b>						
<i>area</i>	0.42		Há	<i>Land use change. annual crop (WFLDB 3.1)/BR U (Land transformation)</i>		[1:1:1:1:1:1:1]
<i>agrochemicals</i>						
<i>Fungicidas</i>						
<i>Bold</i>	30	0.007	MI	<i>Acetamiprid (emission to water/river)</i> <i>Fenprothrin (emission to water/river)</i>		[1:1:1:1:2:2:1]
<i>Nativo</i>	80	0.019	MI	<i>Tebuconazole (emission to water/river)</i> <i>Trifloxystrobin (emission to water/river)</i>		[1:1:1:1:2:2:1]
<i>Aproach</i>	50	0.011	MI	<i>Cyproconazole (emission to water/river)</i> <i>Picoxystrobin (emission to soil/ agricultural)</i>		[1:1:1:1:2:2:1]
<i>Bim</i>	80	0.019	MI	<i>Benzothiazole (emission to water/river)</i>		[1:1:1:1:2:2:1]
<i>Standak Top</i>	500	0.119	MI	<i>Fipronil (emission to water/river)</i> <i>Pyraclostrobin (prop) (emission to air/unspecified)</i>		[1:1:1:1:2:2:1]
<i>Herbicida</i>						

<i>Clincher</i>	150	0.035	MI	<i>Cyhalofop-butyl</i> (emission to soil/ agricultural) <i>N-butyl propionate</i> (emission to soil/ agricultural)	[1:1:1:1:2:2:1]
<b>Fertilizers</b>					
<i>NPK</i>	200	0.047	Kg	<i>Nitrogen fertiliser. as N {GLO}  nutrient supply from potassium nitrate</i> (chemicals/ fertilisers (inorganic)/ transformation) <i>Phosphoric acid. as P2O5. at plant (WFLDB 3.5)/RER U</i> (chemicals/ fertilisers (inorganic)/ transformation)	[1:1:2:1:1:1:2]
<i>monoammonium phosphate</i>	100	0.023	Kg	<i>Monoammonium phosphate (MAP). as N. at plant (WFLDB 3.5)/RER U</i> (Chemicals/ Fertilisers (inorganic)/ transformation)	[1:1:1:1:1:1:2]
<b>Trator (preparo do solo)</b>					
<i>Diesel tractor</i>	120	0.142	L	<i>Diesel. burned in agricultural machinery (WFLDB 3.1)</i> (Agricultural/ plant production/ infrastructure/ machinery)	[1:1:2:1:1:2:2]
<b>Colheita</b>					
<i>Diesel tractor</i>	480	1.44	L	<i>Diesel. burned in agricultural machinery (WFLDB 3.1)</i> (Agricultural/ plant production/ infrastructure/ machinery)	[1:1:2:1:1:2:2]
*5 passagens de trator no solo					
*10 passagem de colheitadeira por lote (passagem individual)					
<b>Outputs</b>					
<b>Processo do Arroz no Campo</b>					
<b>Extração e fabricação dos insumos</b>					
<b>Fluxo</b>	<b>Quant. Total</b>	<b>Quant. R</b>	<b>Un.</b>	<b>Provedor</b>	<b>Notas Pedigree</b>
<i>Nitrogen (N)</i>	82	0.019	Kg	<i>Nitrogen</i> (Elementary flows/ Emission to air/ unspecified)	[2:1:2:3:2:3:2]
<i>Sulfur (S)</i>	18	0.004	Kg	<i>Sulfur</i> (Elementary flows/ Emission to air/ unspecified)	[2:1:2:3:2:3:2]
<i>Methane (CH<sub>4</sub>)</i>	443,3	0.105	Kg	<i>Methane</i> (Elementary flows/ Emission to air/ unspecified)	[2:1:2:3:2:3:2]
<i>Ammonia (NH<sub>3</sub>)</i>	18,8	0.004	Kg	<i>Ammonia</i> (Elementary flows/ Emission to water/fresh water)	[2:1:2:3:2:3:2]

<i>Nitrous oxide (N<sub>2</sub>O)</i>	0.515	0.0001	Kg	<i>Nitrous oxide (Elementary flows/ Emission to air/ unspecified)</i>	[2:1:2:3:2:3:2]
<i>Phosphates</i>	5,6	0.0001	L	<i>Monoammonium phosphate (MAP). as N. at plant (WFLDB 3.5)/RER U (Chemicals/ Fertilisers (inorganic)/ transformation</i>	[2:1:2:3:2:3:2]
<i>Wastewater</i>	132.8	31.61	m <sup>3</sup>	<i>Wastewater (Elementary flows/ Emission to water/ freash water)</i>	[2:1:2:3:2:3:2]
<i>Paddy rice</i>	6333.33		ton	<i>Rice seed. at regional storehouse (WFLDB 3.1) - GLO</i>	[1:1:1:1:1:1:1]

### Inputs

#### Beneficiamento do arroz

#### Beneficiamento

Fluxo	Quant. Total	Quant. R	Un	Provedor	Notas Pedigree
<i>Rice seed</i>	5333.33		t	<i>Rice seed. at regional storehouse (WFLDB 3.1) - GLO</i>	[1:1:1:1:1:1:1]
<i>Electricity. medium voltage</i>	266.060	49.88	kWh	<i>electricity. high voltage {BR}  electricity production. hydro. reservoir. tropical region   Cut-off. S - Copied from Ecoinvent – BR</i>	[1:1:2:2:1:1:2]
<i>Water</i>	717.000.00	2.69	m <sup>3</sup>	<i>market for tap water   tap water   Cutoff. U -BR</i>	[1:1:2:2:1:1:2]
<i>Oil</i>	95	0.017	L	<i>Petroleum oil (Elementary flows/ emission to air/ unspecified)</i>	[2:1:2:2:2:2:1]
<i>Eucalyptus (madeira)</i>	400	0.075	mj	<i>Energy. from wood (Elementary flows/ resource/ unspecified)</i>	[3:1:3:4:4:3:3]
Distribuição					
<i>Diesel truck</i>	60.000.00	11.25	L	<i>Diesel. burned in lorry. EURO5 (WFLDB 3.1)/RER U (Fuels/ Oil/ Transformation)</i>	[1:1:2:1:1:2:2]

- \* Eletricidade = quantidade consumida / toneladas de grão beneficiadas safra
- \* Lenha = quantidade consumida / toneladas de grãos beneficiadas safra
- \* Caldeira = quantidade consumida / toneladas de grãos beneficiadas safra
- \* Água = quantidade consumida / eletricidade consumida safra
- \* Diesel = quantidade consumida / quantidade de toneladas recebidas safra
- \* Óleo = quantidade consumida / quantidade de toneladas recebidas safra

#### Empacotamento

<i>packaging</i>	9.000	0.002	kg	<i>Rice. red. raw. processed in FR / Ambient (long) / LDPE / at packaging/FR</i> (Agricultural / food/ packaging/ Cereal products/ Pasta. rice and grains)	[1:1:2:1:1:2:2]
<i>Diesel embalagem</i>	2.585.25	0.28	kg	<i>Diesel. burned in lorry. EURO5 (WFLDB 3.1)/RER U</i> (Fuels/ Oil/ Transformation)	[1:1:2:1:1:2:2]

\* Embalagens = quantidade recebida / quantidade de kg total de arroz mensal beneficiada na empresa.

\* Diesel da embalagem = Quantidade necessária de diesel do caminhão / pela distância percorrida / quantidade consumida pela empresa ( $4492.1 \times 646.3 = 2.903.244.23 / 1123 = 2585.25 / 9.000 = 0.28$ )

### Outputs

#### Beneficiamento do arroz

#### Beneficiamento

Fluxo	Quant.	Un	Provedor	Notas Pedigree
<i>Processed rice</i>	4266.67	kg	<i>Rice. raw. processed in FR / Ambient (long) / LDPE / No preparation / at consumer/FR</i> [Ciqqual code: 9100] (Agricultural/ food/ preparation/ cereal products/ pasta. rice and grains/ pasta. rice and grains. raw)	[1:1:1:1:1:1:1]
<i>Broken Rice and husk and</i> <i>“quirera”</i>	2666.7	kg	<i>Rice {IN}  rice production / Cut-off. S - Copied from Ecoinvent</i> (Others/ Ecoinvent cut-off S copy)	[2:1:1:2:2:2:2]
<i>Rice bran</i>	1066.67	kg	<i>Rice bran. processed in FR / Ambient (long) / Cardboard / No preparation / at</i> <i>consumer/FR [Ciq]</i> (Agricultural/ Food/ Preparation/ Miscellaneous/ Miscellaneous ingredients)	[2:1:1:2:2:2:2]
<i>Water (NBR 9649/1986)</i>	143.400	m <sup>3</sup>	<i>tap water (RoW) Market for</i> (Others/Ecoinvent cut-off U copy)	[1:1:2:2:1:1:2]
<i>Diesel emission truck</i>	1.100	L	<i>market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 / transport, freight, lorry 16-</i> <i>32 metric ton, EURO4 / Cutoff, U -RoW</i>	[1:1:2:1:1:2:2]
<i>Diesel tractor</i>	1.100	L	<i>Diesel combustion. in tractor /FR U</i>	[1:1:2:1:1:2:2]

Fonte: autores (2023).

Para os efluentes a NBR 9649/1986 instrui adotar o valor de retorno de 80% do volume captado como valor de coeficiente. Portanto, a porcentagem de efluente pode ser calculada como complemento do coeficiente de retorno, estando disposto na equação abaixo.

$$Eflu\ não\ tratado = quantidade\ total\ de\ água \times \frac{porcentagem\ de\ eflu\ não\ tratado}{100} \quad (1)$$

Os cálculos para as emissões de metano (CH<sub>4</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e fosfatos foram calculados de acordo com Sáez (2021) na análise do ciclo de vida de um sistema de produção de arroz realizado na Espanha.

#### 6.5.2.1 Emissão metano (CH<sub>4</sub>)

O CH<sub>4</sub> é um dos principais gases de efeito estufa proveniente das atividades agrícolas, que contribui com aproximadamente 52% das emissões globais, sendo o arroz responsável por 10% do fluxo global deste gás para a atmosfera (Lima *et al.*, 2021). A quantidade emitida depende da duração do cultivo e do regime hídrico antes e depois do cultivo, assim como a presença de matéria orgânica e inorgânica no solo.

$$CH_4 = EF_i * t \quad (2)$$

onde  $t$  é o tempo de cultivo, neste estudo foi de 130 dias e  $EF_i$  é o fator de emissão diário ajustado, calculado como:

$$EF_i = EF_c * SF_w * SF_p * SF_o \quad (3)$$

$EF_c$  é o fator de emissão para campos continuamente inundados, neste caso o valor é de 6.2 kg CH<sub>4</sub> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de acordo com Lima *et al.*, (2021) para um campo de arroz localizado no Brasil.  $SF_w$  é o fator de irrigação durante o cultivo, aqui com valor de 0,55 de acordo com Sáez (2021).  $SF_p$  é o fator de acordo com o regime de água anterior ao cultivo, como no estudo o período em que o campo permanece inundado é menor que 180 dias, este fator tem valor de 1,00.  $SF_o$  é o fator de contribuição de orgânicos, aqui é 1,00 por não utilizar. Com esta informação é possível calcular o fator de emissão diária, e conseqüentemente durante todo o ciclo de cultivo.

$$EF_i = 6,2 * 0,55 * 1 * 1 = 3,41 \frac{KgCH_4}{ha*da}$$

$$CH_4 = 3,41 * 130 = 443,3 \frac{KgCH_4}{ha*da}$$

#### 6.5.2.2 Emissões de aplicação de fertilizantes

A aplicação de fertilizante é de 200kg, sendo o cálculo de emissão aplicado realizado de acordo com a concentração de nitrogênio e enxofre presente no fertilizante Rifertil para o

arroz, sendo 41% N e 9% S. Que equivale a 164 kg de N e 36kg de S a considerar a aplicação de 200kg ha<sup>-1</sup>.

#### 6.5.2.3 Amônia (NH<sub>3</sub>)

A NH<sub>3</sub> emitida por fontes antrópicas causa efeitos adverso ao meio ambiente e na saúde das pessoas. A emissão e disposição de NH<sub>3</sub> é prejudicial para os ecossistemas porque causa a acidificação e alterações nos vegetais, danificando florestas e vegetação de forma direta e indiretamente (Quílez Viteri et al., 2022). Estas emissões estão relacionadas com a quantidade de fertilizante nitrogenado aplicado e podem ser calculadas de acordo com a metodologia proposta pela Agencia Europeia de Meio Ambiente (Hutching *et al.*, 2019). A equação abaixo apresenta sua forma de calcular.

$$E_{fertNH_3} = m_{fert} * EF \quad (4)$$

onde E<sub>fert NH<sub>3</sub></sub> são os kg de NH<sub>3</sub> emitidos, m<sub>fert</sub> é a quantidade de fertilizante aplicado por ha, neste caso é 200kg ha<sup>-1</sup>, EF é o fato de emissão dependendo do tipo de fertilizante. Na região de estudo é aplicado uma combinação de NPK e levando em consideração o clima temperado e o solo que possui um pH básico, o fator utilizado é de 0,094 kg NH<sub>3</sub> kg N, adaptado de Saéz *et al.*, 2021

$$E_{fertNH_3} = 200 * 0,094 = 18,8 \frac{KgCH_4}{ha*da}$$

#### 6.5.2.4 Óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)

O N<sub>2</sub>O é naturalmente produzido no solo devido aos processos de nitrificação e desnitrificação, influenciadas pelo teor de água no solo e a alternância entre úmido e seco durante sua drenagem, criando um ambiente favorável para que estes dois processos aconteçam, levando ao aumento nas emissões de N<sub>2</sub>O (Sáez, 2021). A quantidade de N<sub>2</sub>O emitida para a atmosfera foi calculada de acordo com as Diretrizes do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Klein et al., 2006) para emissões de N<sub>2</sub>O de aporte direto de N.

$$N_2O - N = N_2O - N_{Ninputs} + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP} \quad (5)$$

onde N<sub>2</sub>O-N<sub>OS</sub> e N<sub>2</sub>O-N<sub>PRP</sub> fazem referência as emissões diretas anuais de solos orgânicos e aporte de materiais orgânicos respectivamente, as quais são nulas nesse presente estudo. Para o cálculo de N<sub>2</sub>O-N<sub>Ninputs</sub>, as emissões diretas devidas ao aporte de N no solo se aplica na seguinte equação. Para este estudo só se foi calculado as emissões diretas.

$$N_2O - N_{Ninputs} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM} * EF_{1FR}) \quad (6)$$

onde  $F_{SN}$  corresponde a quantidade de N aplicada em forma de fertilizante sintético,  $164 \text{ kg ha}^{-1}$ .  $F_{ON}$  e  $F_{CR}$  são as quantidades de N aportadas mediante esterco e resíduos agrícolas que neste estudo possui valor nulo.  $F_{SOM}$  é a quantidade de N que se mineraliza, o qual também se encontra nula neste estudo por não se realizar nenhum tipo de quantificação da contribuição da matéria orgânica.  $E_{FIFR}$  é o fator de emissão para emissões de  $N_2O$ , para o cultivo de arroz o valor é de  $0,004 \text{ kg } N_2O\text{-N/kg N}$  (Saéz, 2021).

$$N_2O - N = 164 * 0,004 = 0,656 \frac{\text{Kg}N_2O}{\text{ha}}$$

Segundo o IPCC (2006), a conversão de emissões de  $N_2O\text{-N}$  em  $N_2O$  é realizada da seguinte forma:

$$N_2O = N_2O - N * \frac{44}{28}$$

onde  $\frac{44}{28}$  é a razão utilizada para converter a quantidade N presente no  $N_2O$  para a massa total do composto. Sendo assim, as emissões de  $N_2O\text{-N}$  para o cultivo de arroz no baixo São Francisco sergipano equivalem a  $0,328 \text{ kg de } N_2O/\text{ha}$ .

$$0,656 \frac{\text{Kg}N_2O - N}{\text{ha}} * \frac{44}{28} = 1,03 \frac{\text{Kg}N_2O}{\text{ha}}$$

#### 6.5.3.5 Fosforo (P)

Os fertilizantes fosfatados são produtos oriundos do processamento de rochas naturais ricas em fosfatos, podendo ser mais ou menos solúveis de acordo com a tecnologia utilizada para sua extração. Para o cálculo das emissões de fosfatos, foi utilizado as diretrizes do relatório mundial sobre alimentação (Nemecek et al., 2019; Sáez, 2021), na qual as emissões de fosforo na água produz lixiviação de fosfatos solúveis. As emissões por lixiviação são calculadas da seguinte maneira:

$$P_{gw} = P_{gwl} * F_{gw} \quad (7)$$

onde  $P_w$  são os kg de P lixiviados na água,  $P_{gwl}$  é a quantidade média de P lixiviado em água que foi adotado o valor de  $0,07 \text{ kg P. ha}^{-1}$  para terras aráveis; e  $F_{gw}$  é o fator de correção não aplicado para este estudo. Sendo assim, o valor lixiviado é de  $0,07 \text{ kg P. ha}^{-1}$ . Em relação ao escoamento superficial, é calculado da seguinte maneira:

$$P_{ro} = 0,07 * 80 = 5,6 \frac{\text{Kg}P_2O_5}{\text{ha}} \quad (8)$$

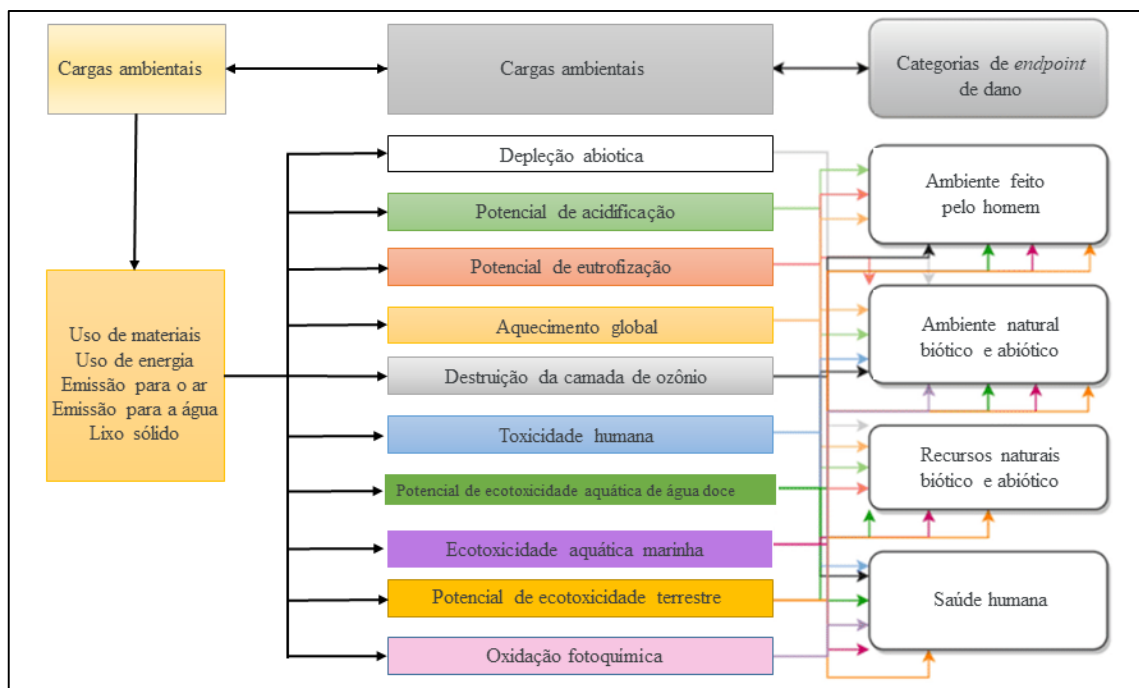
onde  $P_{ro}$  é a quantidade kg de P liberado pelo escoamento,  $P_{rot}$  é a quantidade média de P perdido no escoamento, que segundo Sáez (2021) é de  $0,175 \text{ kg P. ha}^{-1}$  e  $F_{ro}$  é o fato de correção, adotado o valor de 80kg para o arroz irrigado segundo Veloso *et al.*, (2009).

#### 6.5.4 Definição das categorias de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV)

É possível classificar e caracterizar o impacto do ciclo de vida dos fluxos no meio ambiente e para isso existem vários métodos que facilitam esta caracterização em estudos de ACV. A realização do estudo deve seguir as etapas necessárias: inicialmente é feita a seleção da categoria de impacto a ser analisada, seguida pela atribuição dos resultados do ICV a diferentes categorias de impactos (classificação), e por fim, calculada os indicadores de potencial impacto.

Para chegar na parte de AICV é necessário analisar os dados do inventário, o método se encontra de acordo com os disponíveis na base de dados Agribalyse 3.0.1. O método selecionado para caracterização dos impactos neste estudo foi o CML *baseline* (Figura 25), devido sua característica multi-fase com uma abordagem orientada ao problema, correspondendo ao ponto intermédio do mecanismo ambiental, que para cada problema, existem fatores de caracterização quantificados.

Figura 25 - Categorias de AICV CML-IA *Baseline*



Fonte: Adaptado de Bałdowska-Witos (2021).

No método CML-IA *baseline*, os encargos ambientais são agregados de acordo com o potencial impacto ambiental que cada categoria pode causar, levando em consideração o ponto

médio de impacto com as seguintes categorias. Para sua escolha, foi realizada uma revisão sistemática de artigos publicados em periódicos internacionais no período de 2008 a 2024 (Apêndice E), constatando que grande parte dos estudos voltados a ACV do arroz a nível mundial apresenta aplicação das categorias abordadas no método. A partir deste levantamento, as categorias selecionadas para avaliar os potenciais impactos neste estudo, de acordo com a fronteira do berço ao túmulo foram (Quadro 4):

Quadro 4 - Categorias de análise selecionadas.

<b>Grupo de impacto</b>	<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Unidade de referencia</b>
Acidificação	Potencial de acidificação	kg SO <sub>2</sub> eq
Eutrofização	Potencial de eutrofização	kg PO <sub>4</sub> eq
Mudanças Climáticas	Potencial de aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq
Toxicidade Humana	Toxicidade Humana	kg 1,4-DB eq
Depleção da camada de ozônio	Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq
Ecotoxicidade	Ecotoxicidade de água doce Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq

Fonte: Guinné et al., (2002).

O pensamento sobre ambiente e sustentabilidade evolui rapidamente, as categorias de impactos selecionadas estão descritas de acordo com o manual em ACV: guia operacional dos padrões ISO (Guineé et al., 2002).

Em estudo de ACV, a qualidade e representatividade dos dados são essenciais para a declaração de sua incerteza, garantindo assim a confiabilidade dos resultados (Monteiro, 2021). Com o objetivo de respaldar e validar os resultados obtidos da ACV, foi aplicada a análise de incerteza, estando associado a qualidade dos dados da análise do inventário, através da Matriz de Pedigree (Anexo VII), realizada no próprio software OpenLCA 2.11. A avaliação do impacto foi realizada a partir da análise de Monte Carlo, com 5.000 interações para determinação da propagação da incerteza nos resultados com um coeficiente de confiança de 95%.

Na Matriz Pedigree, as notas atribuídas refletem a qualidade dos dados coletados *in loco* e verificados. Para dados com qualidade "muito boa", que representam a mais alta qualidade de coleta, é atribuído o valor 1. Dados com qualidade "boa" recebem o valor 2. Dados que possuem uma avaliação "justa" conforme o escopo da pesquisa são classificados com o valor 3. Dados com baixo nível de confiabilidade na coleta recebem o valor 4.

As interpretações dos resultados estão de acordo com o potencial impactante de cada categoria para comparação com outros estudos de ACV para o cultivo de arroz, sendo analisada

cada categoria e suas contribuições no desenvolvimento do arroz e beneficiamento dos impactos socioambientais.

### **6.5.5 Aplicação de Indicadores de Avaliação da Sustentabilidade de Sistemas de Alimentos e Agricultura (SAFA).**

A ferramenta apresentada pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) é voltada para estudos a respeito da sustentabilidade na agricultura com aplicação recomendada para produtores e empresas envolvidas com a produção agroindustrial (FAO, 2014). Seu objetivo principal é a avaliação das organizações por meio dos componentes da cadeia de suprimentos e perpassa sobre as dimensões ambientais, sociais, econômicas e de governança, estimulando a aprendizagem e melhorando a gestão, planejamento e desenvolvimento de legislações de acordo com o tipo de cultura analisada (Gasso-Tortajada, 2014).

Segundo a FAO (2014), é necessário seguir os quatro procedimentos do sistema SAFA: mapeamento, contextualização, indicadores e relatórios. O foco desta etapa da pesquisa foi conhecer a sustentabilidade socioambiental do cultivo de arroz do BSF a partir do levantamento de informações feita a partir da aplicação de questionários semiestruturados com questões pertinentes as dimensões definidas de acordo com o manual SAFA da FAO.

Neste momento, a pesquisa buscou conhecer de forma abrangente as práticas ligadas a sustentabilidade na região de forma geral, não a realidade de cada indivíduo, justificada pela dificuldade de acesso aos rizicultores e a limitação de locomoção entre os lotes irrigáveis. A amostragem definida foi de 5 agricultores entre os municípios de Brejo Grande, Ilha das Flores e Neópolis (Anexo IV).

Para mensurar o nível de governança, os indicadores foram aplicados na cooperativa de agropecuária de Ilha das Flores, conhecida como Coorpeflores, voltada ao beneficiamento do grão e assistência aos rizicultores cooperados na área de estudo (Anexo IV). E na Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba - CODEVASF, caracterizada como órgão governamental na qual administra os perímetros irrigados da região e presta assistência aos agricultores locais (Anexo V). A aplicação das entrevistas foi realizada entre junho e outubro de 2023.

Devido a dificuldade de coleta de dados com os agricultores locais, o caráter exploratório do estudo justifica o quantitativo da amostragem não probabilística, permitindo ao pesquisador conhecer de forma abrangente as práticas ligadas a sustentabilidade na região. Os indicadores foram selecionados de acordo com a literatura científica para as práticas do cultivo

do arroz na região do BSF, assim como, visitas em campo para observação e conversa com produtores para maiores informações e validação.

Nesta etapa foram examinadas as quatro dimensões do SAFA (Tabela 9). A dimensão de governança abordou 19 indicadores. Na dimensão de integridade ambiental foram abordados 8 indicadores voltados a água, solo, diversidade de produção e resíduos. Para a resiliência econômica foram abordados 8 indicadores sobre investimento, preço, contaminação, qualidade alimentar e força de trabalho. No bem-estar social abordou-se sobre nível salarial, acesso aos meios de produção, igualdade de gênero e segurança do trabalho. Todos os temas foram aplicados em comum para todos os entrevistados, exceto a governança que foi voltado apenas cooperativa de agropecuária e órgão governamental.

Tabela 9 - Indicadores socioambientais selecionados para avaliação da sustentabilidade do cultivo de arroz.

<b>Dimensão</b>	<b>Temas</b>
G: Governança	Ética corporativa
	Prestação de contas
	Participação
	Regas e legislação
	Gestão holística
A: Integridade Ambiental	Atmosfera
	Água
	Solo
	Materiais e energia
	Redução e eliminação de resíduos
R: Resiliência econômica	Investimento
	Vulnerabilidade
	Quantidade de informações do produto
	Economia local
B: Bem-estar social	Meios de subsistência
	Práticas de comércio justo
	Direitos trabalhistas
	Equidade
	Segurança e saúde humana

Fonte: FAO (2014).

Os dados coletados foram organizados partir de gráficos gerados pelo software SAFA no qual varia do “melhor” a “inaceitável”, onde verde escuro representa melhor índice e vermelho representa o pior índice para o indicador em análise. E juntamente com os gráficos gerados no Excel foi possível realizar a discussão de acordo com a literatura científica. Os subtemas que não possuem relação ao estudo em foi excluído da análise dentro do software, a exemplo de práticas de pecuárias e cultura.

Com recorrentes idas a campo na região do BSF, foi identificada a problemática referente a sazonalidade do cultivo de arroz com a criação de camarão na região do BSF, para

melhor compreensão do funcionamento da troca de cultura ao longo do ano no mesmo ambiente.

### **6.5.6 Cartilha informativa da sustentabilidade da rizicultura no baixo São Francisco através da integração da metodologia PH, ACV e SAFATools**

A cartilha informativa foi desenvolvida no intuito de divulgar os dados obtidos durante a pesquisa para a comunidade em geral, servindo também como um novo volume com dados atualizados da versão elaborada e lançada no ano de 2020, intitulada “Pegada Hídrica da rizicultura no BSF e o uso de defensivos agrícolas” pelo autor. Serão abordados os seguintes tópicos.

- Quantidade de água consumida durante o ciclo de cultivo do arroz no perímetro irrigado Betume do campo ao seu beneficiamento;
- Levantamento do inventário do ciclo de vida e sua importância para o desenvolvimento de estudos de ACV no Estado de Sergipe;
- Principais categorias de impactos da ACV para o cultivo do arroz no BSF;
- Sustentabilidade da rizicultura através do SAFATools e onde é possível melhorar.

A versão final possui a dimensão de 148x210mm, e o trabalho de design e diagramação das imagens foi realizada pelo autor (Figura 26). Os gráficos e informações utilizadas foram retirados dos dados levantados em campo, sendo trabalhadas nos softwares Adobe Illustrator e Corel Draw 2020 (Apêndice H).

Figura 26 - Capa e contracapa da cartilha com dados da rizicultura no baixo São Francisco e a saúde dos rizicultores locais.



Fonte: Brandão (2024)

## 6.7 Limites da Pesquisa

No decorrer da pesquisa, limitações logísticas foram enfrentadas, principalmente na etapa de ida a campo, especialmente devido à pandemia da COVID-19. As medidas de distanciamento social dificultaram o cronograma de coleta de dados, não sendo possível reunir os agricultores locais para aplicação das entrevistas dos indicadores SAFA, sendo necessário mudanças no tamanho amostral aqui apresentado, que se encontra aproximado a literatura científica para a metodologia, na qual a dispersão geográfica dos lotes de agricultura da região complicou a logística de aplicação, resultando em uma amostra reduzida, mas que alcança o objetivo principal do estudo. Além disso, o retorno à agroindústria para coletar dados adicionais sobre a Pegada Hídrica industrial do arroz apresentou desafios, uma vez que o acesso às produções mensais de arroz beneficiado tornou-se restrito, limitando as análises do impacto hídrico total na produção local.

## **6.6 Aspectos éticos e legais da pesquisa**

O estudo foi aprovado pelo CEP - Comitê de Ética da Universidade Federal de Sergipe (UFS), nº CAAE 55189221.8.0000.5546, no qual objetiva defender os interesses dos participantes da pesquisa e contribuir para o desenvolvimento de pesquisas dentro dos padrões éticos. Foi entregue aos participantes que se disponibilizaram a responder as questões, a cópia do TCLE - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (Apêndice A) que contém informações referentes ao objetivo da pesquisa, permitindo o solicitado tomar sua decisão de forma justa e sem constrangimentos, tendo sua proteção legal e moral garantida pelo pesquisador, no qual assume o compromisso de preservar a privacidade e a identidade dos participantes que contribuíram com a coleta de dados. Assim como o Termo de Anuência (Apêndice B) a agroindústria, assinado pelo proprietário que colaborou com dados relevantes ao estudo de acordo com a resolução 466/2012 e 510/2016 do CNS que dispõe sobre o compromisso institucional de apoio ao desenvolvimento de pesquisas. Também foi anexado um protocolo de ida a campo devido a pandemia do novo coronavírus entregue ao proprietário da agroindústria (Apêndice C).

**CAPÍTULO III**  
**(RESULTADOS E DISCUSSÕES)**

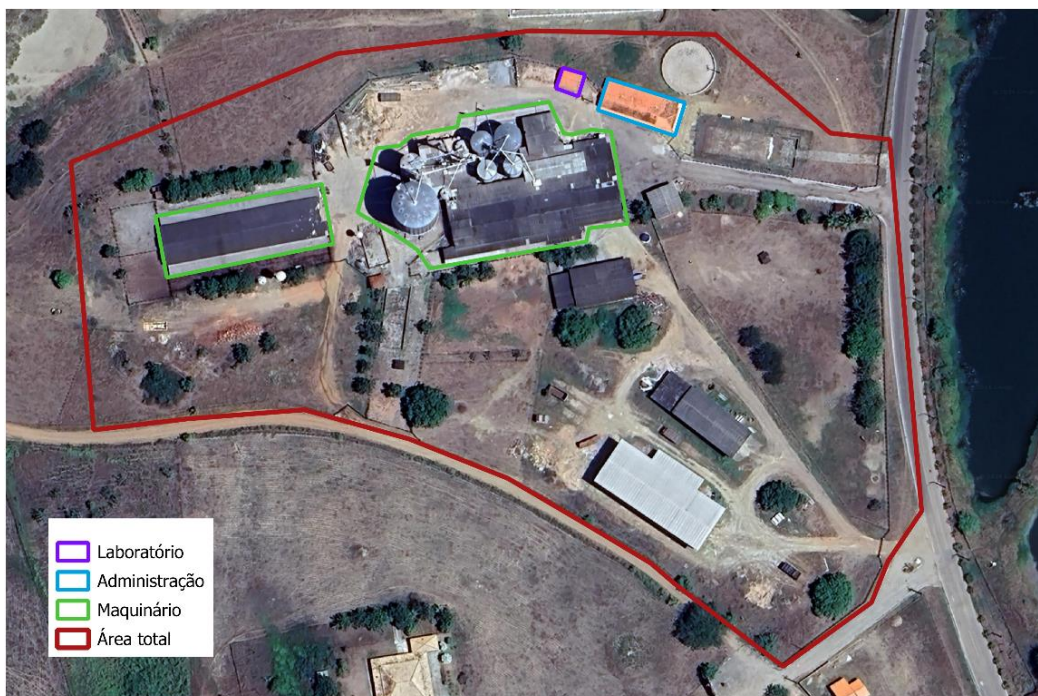
## 7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1 Agroindústria do arroz sergipana e sua caracterização

Para o funcionamento de usinas de beneficiamento de origem vegetal, é necessário a autorização junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), assim como o licenciamento ambiental, instituída no Brasil pela Lei nº 6.938/81, disposto pela Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos para formulação e aplicação (Brasil, 1981), como também da resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, nº 237/1997 que dispõe sobre os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental, definindo o órgão ambiental competente para o licenciamento da localização, instalação, ampliação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais.

A Usina de beneficiamento está localizada na cidade de Telha em Sergipe e recebe cerca de 90% da produção total do município, realizando o processo de beneficiamento, revendendo uma parte do arroz colhido na região do BSF. Possui área total de 4.6 hectares, dividida entre as áreas funcionais de galpão de maquinário, laboratório e administração (Figura 27).

Figura 27 - Divisão da área total da Usina de beneficiamento de arroz no BSF.



Fonte: autor (2024).

Atualmente possui a licença de operação (LO) regularizada pela Administração Estadual do Meio Ambiente – ADEMA válida até o ano de 2025, estando de acordo com a resolução do CONAMA 237/97, na qual autoriza a operação da atividade após a verificação do

cumprimento efetivo para as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação.

De acordo com as diretrizes do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – Sebrae (2016) e da Lei complementar nº 123/2006, a Usina configura-se como uma empresa de pequeno porte devido ao seu quantitativo de funcionários, possuindo um total de 30 colaboradores, divididos em turnos de segunda a sábado, das 07 às 12h e das 13 às 17h, podendo ocorrer turnos noturnos em época de alta colheita.

As funções delimitadas para os funcionários são de acordo com a necessidade no momento da contratação, menos para a parte administrativa na qual necessita de um grau médio de instrução para realização de atividades organizacionais.

Existe um plano de produção diário em época de grande demanda para viabilizar a chegada do arroz colhido dos principais fornecedores, estes se encontram localizados na margem sergipana, o projeto Contiguiba/Pindoba (Japoatã, Neópolis e Própria), Betume (Neópolis, Ilha das Flores e Pacatuba) e Brejo Grande. O projeto Itiúba também contribui no beneficiamento da empresa, porém se localiza no município de Porto Real do Colégio, na margem alagoana do BSF, sendo administrado pela CODEVASF.

A empresa possui o registro do serviço de inspeção municipal (SIM), estando de acordo com a Lei Estadual Nº 8.887 de 2021, no qual institui o Serviço de Inspeção Agroindustrial, Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal no Estado de Sergipe – SIE/SE, dando providencias correlatadas, no qual o SIM deve ser implantando e estruturado conforme estabelecido na legislação pertinente, sendo realizado pela ADEMA.

A qualidade dos grãos é feita a partir da análise em laboratório das amostras pré-selecionadas, sendo coletada de acordo com a chegada do arroz com casca na empresa após pesagem, visando conhecer o teor de umidade e a qualidade, na qual segundo Castro *et al.*, (1999) devem ser submetidos por representar as características físico-químicas do grão, conhecendo seu valor nutritivo, qualidade culinária e processamento.

O produto final é distribuído e comercializado tanto na região quanto em todo o estado de Sergipe, abrangendo exclusivamente os tipos 2 e 3 de arroz, os quais se enquadram nos padrões pré-estabelecidos. De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (Neto, 2015), o arroz em casca pode ser dividido nos subgrupos natural e parboilizado, sendo classificado em cinco grandes categorias: longo fino, longo, médio, curto e misturado, que, por sua vez, se subdividem em cinco tipos – Tipo 1, Tipo 2, Tipo 3, Tipo 4 e Tipo 5. A usina possui fácil acesso através da rodovia SE-425, que liga à cidade de Telha - SE e Cedro de São João - SE.

A caracterização das áreas físicas da empresa se encontra de acordo com a resolução N° 216 de 2004 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, dispendo sobre o regulamento técnico de boas práticas para serviços de alimentação, onde considera boas práticas para alimentos crus, mantidos refrigerados ou à temperatura ambiente, exposto ao consumo, assim como normas para dimensionamento da edificação, organização espacial dos setores, as instalações hidráulicas e elétricas, sanitárias, de vestiários, dentre outros.

A área externa (Figura 28) possui pavimentação com paralelepípedos em bom estado de conservação, com acúmulo de materiais desativados ou fora de uso que não atrapalham o deslocamento ou oferece perigo a quem transita diariamente. As áreas de funcionamento não possuem acesso compartilhado a outros usos, a exemplo de habitação e/ou resíduos provenientes de beneficiamento de arroz, sendo estes removidos com periodicidade. O arroz recebido na unidade de beneficiamento é descarregado em um local separado após pesagem.

Figura 28 - Local de recebimento das sacas de arroz para beneficiamento.



Fonte: Autor (2024).

Foi observado a necessidade de uma rede de proteção contra a entrada de roedores, insetos e outros animais no galpão de beneficiamento por se tratar de um local amplo e de manuseio de produto perecível e alimentício. De acordo com Queiroz (2019), o controle de roedores deve ser realizado mediante a aplicação de raticidas ao redor do armazém e a obstrução de todos os buracos e fendas presentes. Esta medida é importante já que esses animais são vetores de doenças graves que podem afetar os seres humanos, possuindo também um elevado

potencial para causar prejuízos ao proprietário devido ao seu rápido consumo de grãos e alta taxa de reprodução.

A área interna é ampla, por se tratar de um grande galpão com equipamentos, é organizado de modo a facilitar as etapas de beneficiamento, sendo livre de objetos em desuso, com piso apropriado evitando derrapagem, mas com baixa manutenção devido ao uso frequente. O teto possui bom estado de conservação, sem rachaduras e buracos, garantindo a integridade do processo, não foi observado nenhum tipo de proteção contra invasão de animais e não foi reportado nenhum tipo de problema do tipo no levantamento de dados. A iluminação é feita totalmente através do uso de energia elétrica e os pontos de ventilação são apenas naturais.

As instalações sanitárias se encontram de acordo com a resolução N° 216 de 2004 da ANVISA, possuindo acessórios para higienização das mãos e produtos antissépticos/ toalhas de papel não reciclado disponíveis e lixeiras com sacos plásticos para retirada.

A água utilizada na empresa é captada diretamente da rede pública e usada para limpeza total antes de cada safra e para consumo. A destinação da água captada está diretamente ligada ao esgotamento sanitário da Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO) e o município de Telha não possui dados referentes ao lançamento de efluentes domésticos e industriais no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), justificado no sistema pela falta de diagnóstico por parte do órgão municipal.

De acordo com a instrução normativa N° 6 de 2009 do MAPA, se define por arroz em casca natural, o produto que antes do beneficiamento não passa por nenhum tipo de preparo industrial ou tecnológico. Portanto, o arroz recebido na empresa beneficiadora possui critérios pré-estabelecidos de classificação e qualidade, possuindo a Usina um laboratório para pesagem de amostragem dos grãos, realizada sempre no início da colheita das safras na etapa de recepção.

A normativa N° 9 de 2005 dispõe sobre a produção, comercialização e utilização de sementes, no seu inciso V e VII discorrem sobre a amostragem de identificação e análise de sementes, etapas estas realizadas na empresa, detalhadas abaixo.

A empresa realiza o controle de qualidade do arroz a partir de amostras selecionadas na recepção dos grãos colhidos. A primeira etapa da dimensão operacional para qualidade é a secagem das amostras (Figura 29a), realizada com a inserção das sementes no secador. Este tipo de secagem, segundo Franco et al., (2013), é chamado de artificial na qual os grãos úmidos são colocados nestes secadores que forçam a passagem de ar através da massa dos grãos e servem como veículo transportador da umidade retirada dos grãos para fora.

Logo após, os grãos são inseridos em um medidor de umidade (Figura 29b), instrumento eletrônico para análise de umidade e peso específico de cereais com medição média de 15

segundos, realizando uma análise rápida e segura das amostras sem a necessidade de moer, com a impressão de informações sobre umidade, temperatura, peso específico, número progressivo, tipo de cereal e data e hora da medição.

Figura 29 - Secador de amostras (a); medidor de umidade (b).



Fonte: Autor (2024).

Segundo Franco et al., (2013), o teor de umidade informa sobre a necessidade de secagem, o potencial de armazenagem antes do beneficiamento e a suscetibilidade a danificação mecânica. Eifert (2009) discorre sobre o teor de umidade da semente adequado para a realização da colheita, ficando entre 18% e 27%, caso seja colhido com um teor muito elevado, as sementes poderão sofrer formações, por outro lado, se colhido em condições de baixa umidade, a qualidade fisiológica e de germinação podem ser afetadas.

Na segunda etapa da dimensão, os grãos são inseridos nos selecionadores de impurezas (Figura 30a), que calcula a impureza presente em uma determinada amostra de grãos despejadas no funil do selecionador com a ajuda de uma peneira, separando os grãos das impurezas, ao final o grão limpo cai em um compartimento e a pureza em outro. No visor da máquina aparece o tempo para seleção e o cálculo de porcentagem de impureza presente em determinada amostra de grãos. Logo após a separação das impurezas, os grãos são condicionados em sacos plásticos e comparados com testes realizados anteriormente (Figura 30b). A periodicidade das análises é feita por demanda, geralmente do final de agosto (início da colheita) até o final de fevereiro (final da colheita).

Figura 30 - Seleccionador de impurezas (a); Grãos após análises (b).



Fonte: Autor (2024).

A identificação e retirada de impurezas contribuem no aumento da qualidade de revenda do arroz, na qual, a Instrução Normativa Nº 2 de 2012, que inclui o Art. 20 da Nº 6 de 2009, explicita que o percentual de matérias estranhas e impurezas superior a 2% deverá ser classificado e anotado nos documentos de classificação. Em geral, após a etapa de retirada das impurezas, que deve ser realizada de forma criteriosa, o arroz perde um percentual de até 2% do seu peso total de colheita.

Segundo Oliveira *et al.*, (2014), os resíduos gerados durante o beneficiamento são vendidos para reaproveitamento, a exemplo da farinha de arroz, que pode ser utilizada para desenvolvimento de derivados, como massas, além de ser utilizada como ingrediente para outros produtos devido suas propriedades emulsificantes.

Os equipamentos utilizados em cada etapa do processo se encontram divididos em duas fases, sendo elas, a de campo no qual faz uso de tratores, colheitadeiras e caminhões para transporte do cereal, e a de beneficiamento, envolvendo a limpeza, secagem, armazenamento, separação dos grãos, descascamento e polimento, definindo ao final o tipo de arroz a ser comercializado.

A caldeira existente (Figura 33) na indústria funciona a partir da queima da lenha do eucalipto, cultivada no Platô de Neópolis com autorização do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (Aragão-Zambrana; Teixeira, 2016), região do BSF. O uso deste tipo de insumo para geração de energia é comum, para uma indústria de laticínios no alto sertão sergipano, a lenha também é utilizada, sendo necessário estudos que viabilizem filtros de ar devido os poluentes gerados (Santos, 2020).

Figura 33 - Caldeira utilizada na agroindústria de beneficiamento



Fonte: Autor (2022).

As fontes de abastecimento de água na propriedade são a partir da DESO com média de 67,35 m<sup>3</sup> ao longo do beneficiamento da colheita 2021, sendo registrada nas contas mensais, não possuindo hidrômetros independentes para a mensuração do consumo específico dos setores, não contando com aproveitamento da água da chuva. Segundo Montoya; Finamore (2021), as taxas de consumo e de retorno d'água ao meio ambiente demonstra que na agroindústria corresponde a 54,58% da água consumida pelo Brasil, com uma taxa de retorno de 45,42%, podendo afirmar que o país é um grande fornecedor de recursos hídricos para a economia mundial a partir da exportação de produtos.

Já as fontes de energia utilizada são oriundas de hidroelétricas, segundo levantamento na agroindústria, a energia solar ainda não foi implementada devido seu alto custo de instalação. A empresa possui um consumo médio variável entre 9.60 kWh (sem safra) à 32.820 kWh (com safra) mensal. Segundo Nunes *et al.*, (2017), a viabilização do uso da casca do arroz em empresas de beneficiamento é uma alternativa energética, minimizando os impactos no meio ambiente ocasionada pela sua lenta decomposição, contribuindo para a redução de custos a longo prazo relacionados ao consumo elétrico.

O SGA da ISO 14001 é uma ferramenta de gestão que tem como objetivo prover às organizações uma estrutura para proteção do meio ambiente e possibilitar uma resposta as mudanças das condições ambientais em equilíbrio com as necessidades socioeconômicas (ABNT NBR ISO 14001, 2015). A norma não estabelece padrões fixos ou requisitos absolutos

de desempenho ambiental, mas exige que as atividades estejam em conformidades com os requisitos legais, podendo ser aplicada em qualquer organização que deseje implantar um SGA (Cruz; Andrade, 2016).

Para a dimensão ambiental de caracterização, a empresa não aplica nenhuma ferramenta da SGA até o momento, porém, por exigência da ADEMA, instalou um recipiente para captação de efluentes gerados não tratados no processo e que não podem ser lançados diretamente no esgotamento sanitário. Vanin; Marquez (2020), aplicaram o SGA para minimização de impactos ambientais gerados por uma agroindústria abatedora de aves e concluíram que contribui para melhoria contínua dos processos agroindustriais e minimizam os impactos ambientais, sendo uma ferramenta tecnicamente viável.

Para Saidelles *et al.*, (2012), o mapeamento dos resíduos sólidos gerados no processo de beneficiamento da agroindústria do arroz é a fase inicial para a introdução de um SGA. Os resíduos gerados no beneficiamento do arroz na agroindústria do baixo São Francisco são reaproveitados, assim como explicitado por Lorenzett *et al.*, (2012) para uma indústria de beneficiamento no Rio Grande do Sul, onde parte dos resíduos da região são reaproveitados, a exemplo da Quirera de arroz e do Farelo de Arroz (vendido *in natura* para fabricação de ração animal) e da Palha do arroz (utilizada para cama de gado e aves).

A casca é um resíduo que possui grande volume, mas não é reaproveitado na região, porém estudos comprovam que pode ser utilizada na produção de energia devido seu alto poder calorífico, produzindo uma grande quantidade de cinza, com pouco impacto direto ao meio ambiente já que a fumaça possui baixo potencial de poluição (Sousa, 2019). A cinza pode ser utilizada na produção de concreto eficiente e ecológico, assim como, incorporação em solo agrícola para adubação (Lorenzett *et al.*, 2012; Nunes *et al.*, 2017).

Pensando na reutilização dos produtos, este sistema pode vir a ser categorizado como uma economia circular, conceituada por Weetman (2019), como economia zero resíduos, no qual os produtos no fim devem torna-se orgânicos, ou estar disponíveis para reutilização, neste caso específico, esta economia pode ser tornar aplicável desde que aconteça melhorias nas etapas dos processos.

Ainda na aplicação do *checklist*, buscou-se verificar a existência de algum tipo de programa ou plano voltado a sustentabilidade, como resultado, ficou claro que mesmo possuindo potencial poluidor para os recursos hídricos, não existe nenhum tipo de documento que viabilize a minimização ou mitigação para o meio ambiente. Figueiredo (2020) buscou avaliar a sustentabilidade e produção mais limpa na agroindústria de um laticínio no sertão

paraibano, demonstrando que a empresa consome muita água e não tem controle da vazão consumida no processo, já que capta diretamente de uma barragem próxima.

Diferentemente, a água consumida na Usina de beneficiamento é feita diretamente da rede de distribuição e contabilizada, porém se faz necessário a instalação de hidrômetros individuais nas etapas que demandam de água para conhecer o consumo real e propor melhorias e planos de sustentabilidade, a exemplo do Programa de Produção Mais Limpa (P+L) proposto pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas (CNTL) e utilizado por Figueiredo (2020), podendo ser ajustado para a realidade local.

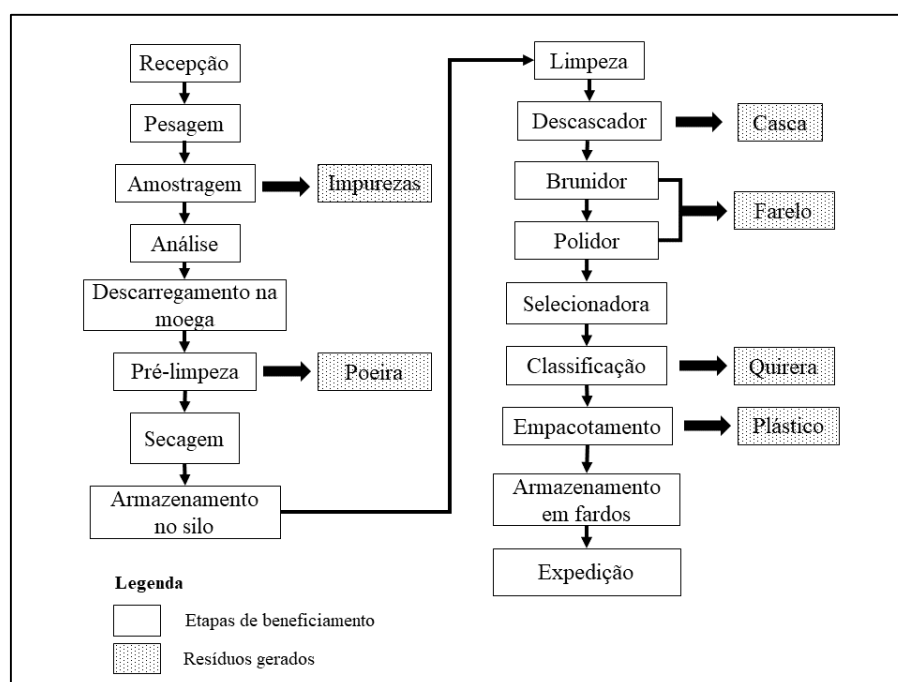
## **7.2 Processo produtivo da agroindústria**

A rizicultura é a principal atividade agrícola nos perímetros irrigados localizados no BSF, envolvendo cerca de duas mil famílias e o seu beneficiamento (Ferreira, 2014). O Processo de beneficiamento na agroindústria (Figura 34) inicia-se com a chegada do arroz com casca na área de recepção. Em seguida, o grão é lavado para pesagem, onde é retirada uma pequena amostra para análise em laboratório. Na terceira etapa, o arroz é direcionado para a moega, onde fica armazenado até ser encaminhado para a etapa de pré-limpeza, onde o grão passa por uma esteira para remoção de impurezas, preparando-o para a secagem, cujo objetivo é reduzir a umidade. O processo de beneficiamento é contínuo, e os grãos são armazenados em dois grandes silos.

Após a etapa de limpeza realizada pelo flutuador, no qual consiste em separar os grãos quebrados, os inteiros são levados para o descascamento, ocorrendo o rompimento da casca dos grãos e a separação. A próxima etapa é levar para o brunimento, onde é removido a germe e a película que envolve a cariopse do grão, na empresa é utilizada as pedras de brunir que faz o polimento e melhora o brilho do grão. Após o brunimento, é feito o processo de separação dos fragmentos e dos grãos com defeitos, dando origem a Quirera e a farinha do arroz.

O arroz já beneficiado é separado por tipo, na empresa se trabalha apenas o tipo 2 e 3, sendo direcionado para a empacotadora automática onde é inserido nas embalagens com a logo da marca com peso de 1kg de arroz, sendo posteriormente armazenado, esta etapa está de acordo com a Lei Nº 9782/99 da ANVISA que atribui a competência de regulamentar, controlar e fiscalizar os produtos e serviços que envolvem risco à saúde pública, dentre eles, as embalagens para alimentos. Todo o processo aqui corrobora com o levantamento feito por Saidelles *et al.*, (2012), realizado para discutir a gestão de resíduos sólidos na indústria do beneficiamento de arroz.

Figura 34 - Fluxograma de Beneficiamento de arroz e os resíduos gerados no baixo São Francisco.



Fonte: Autor (2024).

A Usina em questão realiza apenas o beneficiamento do arroz branco, não demandando grande quantidade de água no seu processo. O arroz para ser considerado parboilizado passa por todas as etapas de limpeza citadas anteriormente, porém necessita de um processo hidrotérmico no qual o arroz ainda em casca é imerso em água potável a uma temperatura de 58 C°, seguido de gelatinização parcial ou total do amido e secagem que permite a migração e fixação de vitaminas hidrossolúveis em seu interior, minimizando os efeitos nocivos do polimento sobre o valor nutritivo do arroz (Eifert et al., 2021; Lopes; Lopes, 2008).

Este processo não é feito na usina pesquisada, demandando de grande quantidade de água nesta etapa do processo, quando realizado, é necessário estar de acordo com a NBR 9800/1987 (ABNT, 1987) para lançamento de efluente líquido industrial devido a etapa de encharcamento que é passado o arroz durante a parboilização. O arroz que passa por este processo destaca-se pela qualidade nutricional se comparado com o branco, ficando atrás apenas do integral, que possui o melhor valor nutricional dentre os tipos citados anteriormente (Lopes; Lopes, 2008).

### 7.3 Pegada Hídrica da Usina de Beneficiamento de arroz

Segundo a ABNT 14046 (2017), as questões da água são de natureza local e relacionadas a bacia de drenagem e precipitação específicas, características hidrológicas, geográficas, climáticas, ecossistêmicas e socioeconômicas. Hoekstra et al., (2011) define a PHemp como o volume total de água doce utilizada de forma direta e indireta para o seu funcionamento e manutenção, resultado da soma das pegadas hídricas dos produtos da empresa.

A partir da caracterização da Usina de Beneficiamento foi traçado os objetivos e escopo da avaliação da PH agroindustrial conforme a metodologia proposta por Hoekstra et al., (2011). Sendo calculado a PH do processo ( $PH_{proc}$ ), a PH da empresa ( $PH_{emp}$ ) e a PH do produto ( $PH_{prod}$ ), tendo como base o consumo de água da fase em campo e industrial, assim como da energia utilizada na Usina.

#### 7.3.1 Pegada Hídrica do Processo ( $PH_{proc}$ )

A  $PH_{proc}$  leva em consideração todos os processos relevantes que integram o sistema de produção de um produto, podendo ser realizada para apenas um tipo de produto em particular, estando de acordo com a metodologia proposta por Hoekstra et al., (2011, p. 59).

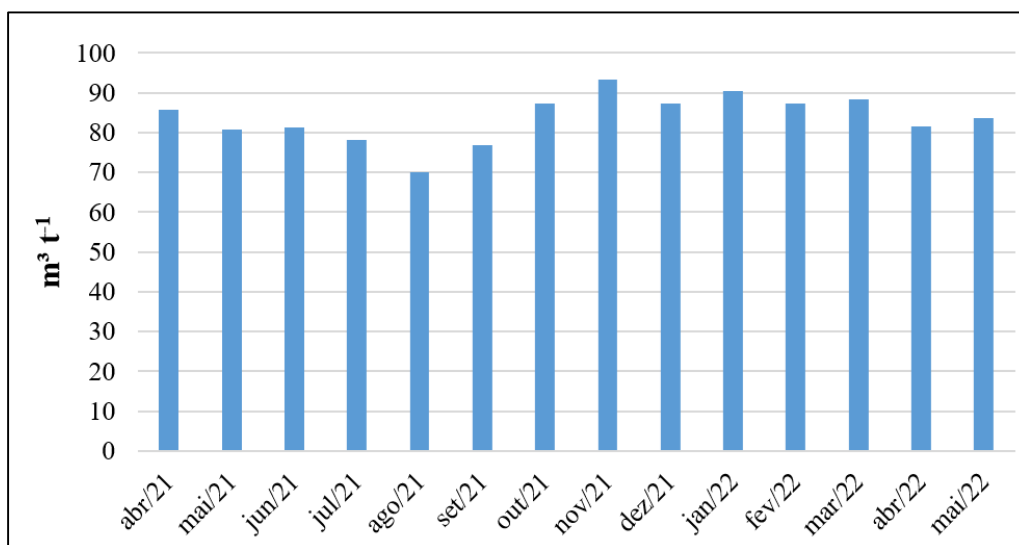
Para a quantificação da  $PH_{proc}$ , é recomendado a realização do cálculo para encontrar os valores da  $PH_{azul}$  e  $PH_{cinza}$  do processo. Encontra-se com a soma entre as PHs definidas no escopo do estudo, dividida pelo tempo. Esta informação é necessária para a formulação de todos os resultados da PH aqui apresentados, estando de acordo com a equação 1 apresentado na metodologia.

#### 7.3.2 PH azul e cinza

A  $PH_{azul}$  refere-se ao consumo de água azul (superficial e subterrânea) ao longo da cadeia produtiva (Hoekstra et al., 2011). A água utilizada na agroindústria é captada diretamente do sistema de distribuição no município de Telha – SE, incorporando o valor de água consumida na caldeira durante todo o ciclo de beneficiamento nos meses de funcionamento da empresa, calculado de acordo com a equação 2, determinada através da diferença entre o volume total de água captado ( $Vol_{cap}$ ) e o volume de efluente devolvido ao sistema de esgotamento sanitário ( $Vol_{eflu}$ ).

A partir dos resultados levantados é possível observar a contribuição de 42% da  $PH_{azul}$  no processo de beneficiamento do arroz do BSF. A figura 35 demonstra que a  $PH_{azul}$  possui uma demanda crescente, este fato está ligado ao crescimento no beneficiamento entre os meses estudados de 2021 e 2022.

Figura 35 - Valores mensais da Pegada Hídrica azul no BSF.



Fonte: Autor (2024).

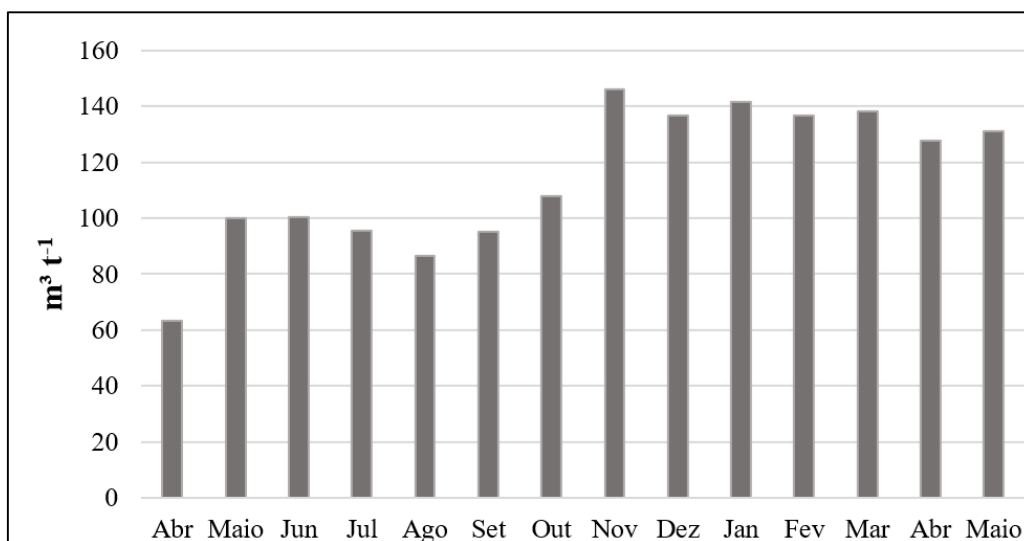
O mês de abril/21 possui uma pegada de  $85,62 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  da produção na agroindústria, sendo também o período de retorno à normalidade após a pandemia da COVID-19, mantendo este valor em crescimento com pequenas variações, atingindo maior pico em novembro/2021 ( $93,22 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ ), justificado pela alta demanda de colheita dos grãos em campo e consequentemente maior captação de água azul para funcionamento da Usina, mantendo-se linear ao longo dos meses até a finalização do beneficiamento da safra 2021 no mês de maio de 2022.

A  $\text{PH}_{\text{cinza}}$  refere-se à poluição, definida como volume de água doce necessário para assimilar as cargas poluentes a partir das concentrações naturais e de padrões de qualidade d'água existentes (Hoekstra *et al.*, 2011). O cálculo está de acordo com a equação 3 descrita na metodologia seguindo o manual da PH.

Para o cálculo foi utilizado os valores de água captada obtida a partir da leitura do hidrômetro mensal da Usina, o valor da concentração do poluente de acordo com Britto (2015) para a Demanda Química de Oxigênio (DBO), o volume de efluente gerado de acordo com a NBR 9649 de 11/1986 no qual define como 80% do volume de retorno de água captada, a concentração de um poluente no efluente, sendo o nitrogênio amoniacal total até  $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ , presente naturalmente nos corpos hídricos como produto de degradação de compostos orgânicos e inorgânicos do solo e da água, aqui de acordo com a norma do CONAMA N° 357. Os valores de concentrações máxima aceitável e natural em um corpo hídrico de acordo com o CONAMA N° 430 para água doce.

Os resultados obtidos para a  $PH_{cinza}$  apresentados na Figura 36, demonstra os valores mensais quantificados. A agroindústria possui potencial de poluição na região, a  $PH_{cinza}$  contribui com 58% do total de água do processo, possuindo impacto reduzido no corpo hídrico devido a não realização do processo de parboilização.

Figura 36 - Valores mensais da  $PH_{cinza}$ .



Fonte: Autor (2024).

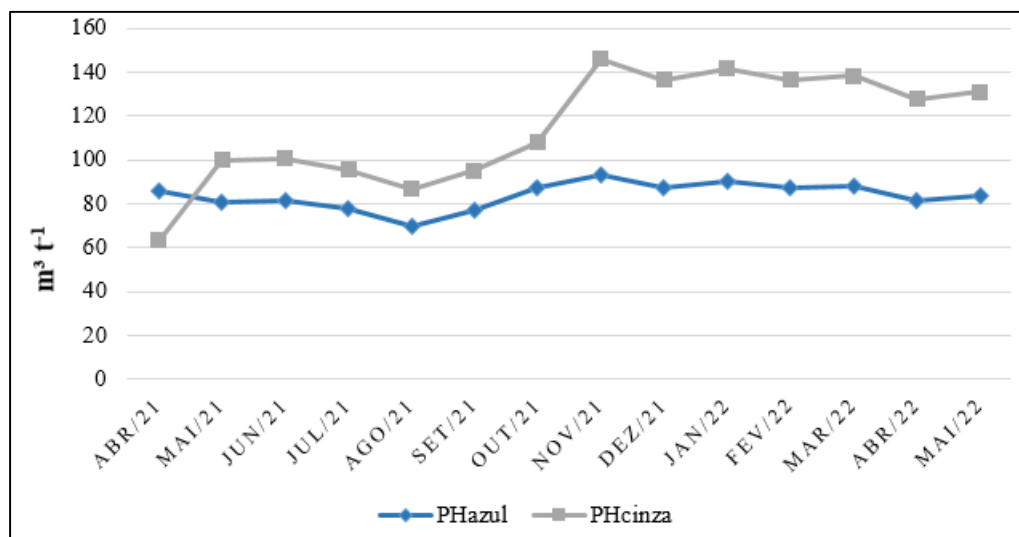
A produção de arroz parboilizado requer intensivo consumo de energia e grande produção de águas residuais, não possuindo substâncias perigosas. Quando não tratadas são fonte de produtos orgânicos e nutrientes que podem afetar diretamente a fertilização de peixes e comprometer o cultivo de vegetais, caracterizando o seu descarte irregular como risco ambiental (Muchlisyyah et al., 2023; Gerber, 2015). Ainda não se tem notificação sobre estudos da PH voltados a este processo.

A etapa de campo possui menor valor de  $PH_{cinza}$  quantificado por hectare, porém maior potencial de impacto devido ao uso de agroquímicos, no desenvolvimento do arroz com casca e destinação ao corpo hídrico receptor na região sem nenhum tipo de tratamento prévio, diferentemente do que acontece na etapa de beneficiamento onde os efluentes gerados são destinados ao sistema de esgotamento sanitário municipal, passando por um tratamento antes de despejados no rio.

Durante a etapa de beneficiamento, a  $PH_{cinza}$  superou a  $PH_{azul}$  ao longo dos meses, exceto em abril de 2021, quando a  $PH_{cinza}$  foi de  $63,12 m^3 t^{-1}$ , este valor mais baixo pode ser atribuído ao consumo de água e ao volume de arroz beneficiado na agroindústria durante o período de retorno após a COVID-19. A  $PH_{cinza}$  apresentou um aumento constante à medida que o consumo hídrico da empresa crescia ao longo dos meses, atingindo seu pico em novembro de 2022, com

146,05  $\text{m}^3 \text{t}^{-1}$ . Na figura 37 é possível visualizar a comparação entre a  $\text{PH}_{\text{azul}}$  e  $\text{PH}_{\text{cinza}}$  de acordo com os coletados.

Figura 37 - Comparação entre as  $\text{PH}_{\text{azul}}$  e  $\text{PH}_{\text{cinza}}$  no baixo São Francisco.



Fonte: Autores (2021).

Há poucos estudos disponíveis nos bancos de dados referentes a PH do beneficiamento do arroz na agroindústria. A literatura científica existente e consolidada concentra-se principalmente na etapa de cultivo do arroz com casca e seus desdobramentos, o que dificulta a realização de discussões comparativas de resultados no contexto do beneficiamento.

Nos resultados levantados por Chapagain; Hoekstra (2010) sobre a perspectiva de consumo e dos subprodutos entre 2000-2004 no processamento de arroz em diferentes países, a  $\text{PH}_{\text{verde}}$  ( $761 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ ) destaca-se maior contribuição da  $\text{PH}_{\text{total}}$ , seguida da  $\text{PH}_{\text{azul}}$  ( $704 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ ) e  $\text{PH}_{\text{cinza}}$  ( $132 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ ). Para a Coreia Yee *et al.*, (2014) a  $\text{PH}_{\text{azul}}$  possui maior contribuição com  $501,6 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ , seguido  $\text{PH}_{\text{verde}}$   $294,6 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  e  $\text{PH}_{\text{cinza}}$   $48,4 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  onde o governo possui um planejamento para converter as áreas de cultivo de arroz em outras culturas para rotação que visa a melhoria do solo.

Em contrapartida, a ferramenta da PH possui vasta aplicabilidade a depender o objetivo do estudo proposto, possuindo caráter interdisciplinar contribuindo para o gerenciamento de recursos hídricos em diferentes setores da agricultura, indústria, desenvolvimento de cidades e etc.

Para o Estado de Sergipe já existe alguns trabalhos voltados a PH da agricultura, porém para a agroindústria apenas um, Santos (2020) realizou a quantificação para uma empresa de laticínio no Alto Sertão Sergipano, onde a  $\text{PH}_{\text{azul}}$  possui valor inferior a  $\text{PH}_{\text{cinza}}$ , justificada pelo tipo de processamento, demandando bastante água no seu desenvolvimento, possuindo alta

concentração de poluente no efluente gerado e conseqüentemente, maior valor para diluição dos poluentes nos corpos hídricos receptores, justificando sua  $PH_{cinza}$  elevada.

No estudo conduzido por Costa (2017) para determinar a PH de um vinho de terroir, caracterizado pelos aspectos específicos de sua localização em Portugal, a  $PH_{azul}$  representa 35% da  $PH_{total}$  do desenvolvimento da bebida. Esta porcentagem está associada à forma de gerenciamento dos recursos hídricos disponíveis para o desenvolvimento das uvas, uma vez que o cultivo das vinhas é realizado sob condições de estresse hídrico. A  $PH_{cinza}$  contribui com 10% e o fornecimento de água é necessário apenas como complemento, já que a  $PH_{verde}$  predomina em relação às outras pegadas hídricas do processo.

Estes resultados corroboram com os encontrados pelo autor em estudos passados para quantificação da PH do arroz em casca na região do BSF, dando continuidade aqui, destacando que a etapa de maior consumo foi durante o desenvolvimento do cultivo, possuindo influência direta das variáveis climáticas, demonstrando que a etapa de beneficiamento do arroz possui menor  $PH_{azul}$ .

Viana et al., (2018), aplicou a PH em uma indústria de beneficiamento de jeans no agreste de pernambucano, demonstrando que este setor industrial demanda de grande quantidade água diária, consumindo cerca de 60 litros de água por peça produzida, possuindo uma grande quantidade da  $PH_{azul}$  devido a coleta de água do sistema de abastecimento do município, elevando a  $PH_{proc}$ , demandando de grande quantidade de água para assimilação dos poluentes utilizados nas etapas do processamento do jeans, elevando a  $PH_{cinza}$ .

Para a produção de sorvete, a demanda de água é grande de acordo com o tipo de processamento, a  $PH_{proc}$  foi quantificada por Pereira (2018), a  $PH_{verde}$  se destaca na  $PH_{proc}$  com 98% do total consumido, o autor não justifica se a água verde incorporada é captada e inserida no processo ao longo das etapas, as  $PH_{azul}$  e  $PH_{cinza}$  contribuíram com apenas 1% respectivamente, com grande uso de água verde, a quantidade de água azul captada para consumo não caracteriza a água cinza como potencial poluidor.

A  $PH_{azul}$  também permite conhecer o consumo associados aos insumos utilizados na produção de um produto, podendo considerar seu desperdício ou perda, aqui não quantificado, permitindo identificar os impactos associados a estes setores, sendo comumente realizada na etapa agrícola de desenvolvimento, de acordo com a disponibilidade hídrica, associada a precipitação natural da área em estudo.

Arévalo et al., (2011) concluíram que a  $PH_{azul}$  contribui na gestão da água empresarial, sendo uma estratégia importante para identificação da PH da cadeia de valor e utilizar esta

ferramenta para diagnosticar impactos, ameaças, vulnerabilidade e prováveis riscos associados à sua operação em relação a água.

Se tratando da  $PH_{cinza}$ , para o processo industrial da celulose, ela corresponde a 58% da  $PH_{total}$ , correspondendo aos parâmetros de qualidade de água definidos por lei, havendo menor necessidade de diluir os poluentes nos corpos hídricos uma vez que sua presença é aceita em maior volume de acordo com a legislação estabelecida (Empinotti et al., 2013).

A PH deve ser contabilizada de acordo com as especificidades regional, os resultados aqui obtidos corroboram com os encontrados pelos autores para a Celulose, onde a porcentagem de efluentes industriais gerados se assemelham em valores, contribuindo para impactos sociais e ambientais a nível regional.

Ao longo do processo produtivo, todos os efluentes gerados são captados pelo sistema de esgotamento sanitário para tratamentos e posteriormente retorna ao rio São Francisco. Portanto, parte da água captada que não é incorporada no processo de beneficiamento do grão, volta ao seu local de origem. O município não possui relatórios sobre o esgotamento sanitário no SNIS, sendo assim, não foi possível conferir a cobertura de atendimento local, mas existe um projeto de uma Estação de Tratamento de Água (ETA) proposta pela ANA (2020), que faz parte do Atlas Esgotos para despoluição de bacias hidrográficas com metas para o ano de 2035.

#### 7.3.4 Pegada Hídrica Operacional ( $PH_{oper}$ )

De acordo com o manual aqui utilizado para realização das equações e levantamento de dados, a  $PH_{oper}$  de uma empresa corresponde ao volume de água doce consumida ou poluída em decorrência das operações realizadas por ela (Hoekstra *et al.*, 2011, p. 59).

A determinação da  $PH_{oper}$  considerou a  $PH_{proc}$ . Para sua realização, foi determinada as  $PH_{azul}$  e  $PH_{cinza}$  mensal seguindo a metodologia descrita anteriormente com dados coletados durante visitas, considerando o tempo de funcionamento da agroindústria entre a etapa de recebimento do arroz em casca e seu beneficiamento até saída para consumo final.

Foi obtido para  $PH_{azul}$  associada ao processo de beneficiamento o valor anual de 1171,24  $m^3 t^{-1}$  (42%). Para a  $PH_{cinza}$ , o valor obtido, associado ao mesmo processo, foi de 1607,03  $m^3 t^{-1}$  (58%), se caracterizando como a quantidade de água necessária anualmente para assimilação da carga poluente gerada no processo de beneficiamento. Para a  $PH_{verde}$ , o valor obtido foi zero já que não utiliza de água oriundas de chuvas e acumulada no solo para o processo de beneficiamento do arroz branco tipo II e III na agroindústria.

Em estudos voltados a outros tipos de indústria, a exemplo de Santos (2020) para a uma empresa de laticínios no alto Sertão Sergipano, a  $PH_{cinza}$  (99%) é referente ao valor total da

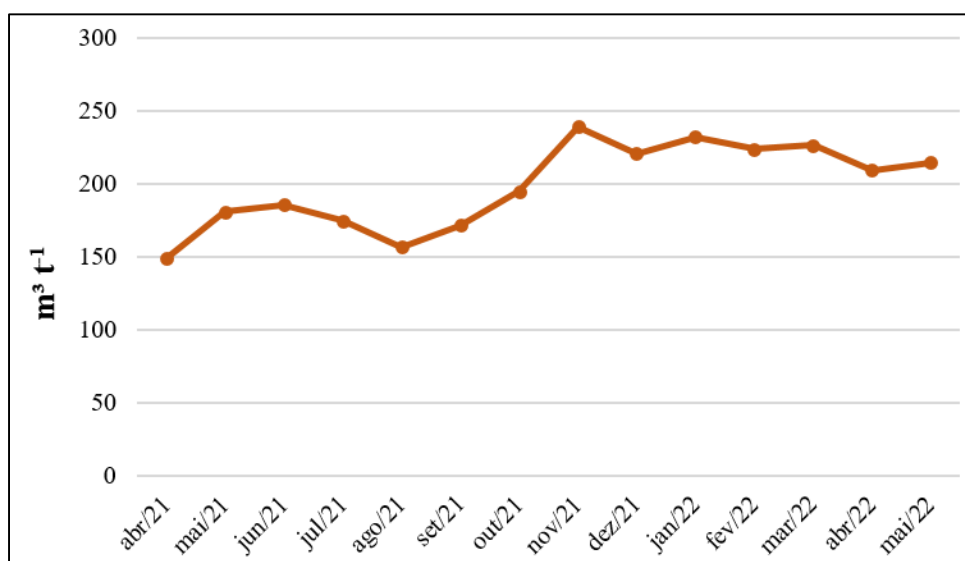
$PH_{oper}$  e a  $PH_{azul}$  possui apenas 1% de contribuição. Nos resultados obtidos por Cordeiro (2015) para uma Caverma Têxtil em Portugal, a  $PH_{cinza}$  corresponde a 96% da  $PH_{oper}$  e a  $PH_{azul}$  a apenas 4%. Estes valores se justificam devido os dois tipos de indústria demandarem de consumo elevado de água, aumentando conseqüentemente o aumento do valor hídrico para assimilação de cargas poluentes geradas em seus processos, diferentemente do tipo de produto aqui estudado.

Os valores aqui encontrados não possuem grandes diferenças em (%) devido ao baixo consumo de água e conseqüentemente a necessidade de assimilação dos efluentes lançados nos corpos hídricos, a não realização do processo de parboilização na empresa contribuiu para este resultado, caso fosse realizado, a demanda pelo consumo de recursos hídricos aumentaria significativamente.

A  $PH_{oper}$  aqui só utiliza dados da  $PH_{proc}$  devido à dificuldade em realizar a PH referente ao consumo adicional (administração, banheiros e laboratórios), ou seja, das atividades que não estão diretamente ligadas a elaboração da produção, já que a empresa não possui hidrômetros de leituras separados, dificultando assim sua determinação, seu valor está incluso no cálculo final da PH da empresa. Para Cordeiro (2015), o volume associado a este componente não é significativo devido ao uso diário de água nestes ambientes.

O valor mensal da  $PH_{oper}$  (Figura 38) foi determinado de acordo com a equação 5. O valor anual quantificado foi de  $2.780,27 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ , equivalendo aproximadamente a  $9,26 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  por kg de arroz branco beneficiado.

Figura 38 - Valores mensais da  $PH_{oper}$  do beneficiamento no BSF sergipano.



Fonte: autor (2024).

Os dados de captação de água, abrangendo o período de normalização do beneficiamento na agroindústria após os meses de pandemia, compreendem de abril de 2021 a maio de 2022. No gráfico acima, observa-se que o menor valor da  $PH_{oper}$  ocorre no retorno da normalização da atividade na Usina, no mês de abril de 2021 com  $148,74 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ , aumenta até julho de 2021, atingindo  $174,59 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ , seguido por uma diminuição em agosto de 2021 para  $156,72 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ . Posteriormente, há um crescimento linear, atingindo o pico de produção em novembro de 2021, com  $239,27 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ , e mantendo um valor médio de  $221,227 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  até maio de 2022.

A diferença entre os meses é justificada pela época de plantio entre os lotes irrigáveis pelos agricultores, as sementes para cultivo são liberadas por áreas de plantio, facilitando posteriormente a colheita devido a disponibilidade de colheitadeira para realização da colheita na região, que não consegue suprir a demanda em época de alta devido a quantidade de áreas irrigáveis cultivadas, desta forma, as perdas de arroz diminuem, garantindo o lucro dos agricultores e facilitando o transporte do grão em casca do local de origem até as agroindústrias que realizam seu beneficiamento, neste caso, para o município de Telha - SE.

Ao analisar os valores do consumo de águas obtidos em campo no período de alta da pandemia do COVID-19, ficou claro o impacto direto na usina de beneficiamento de arroz na região do BSF. É possível visualizar seus impactos através da captação de água na agroindústria na época de alta dos casos em todo o mundo (Quadro 5). Nos dados aqui analisados, a empresa de beneficiamento trabalhou com limite mínimo de beneficiamento durante o ano de 2021 até início de 2022.

Quadro 5 - Comparação entre os meses de alta da COVID-19 na região BSF sergipano.

<b>Período</b>	<b>Volume Captado (m<sup>3</sup>)</b>
<b>2020</b>	
Janeiro	10 m <sup>3</sup>
Fevereiro	10 m <sup>3</sup>
Março	10 m <sup>3</sup>
Abril	10 m <sup>3</sup>
Maiο	10 m <sup>3</sup>
Junho	10 m <sup>3</sup>
Julho	10 m <sup>3</sup>
Agosto	10 m <sup>3</sup>
Setembro	10 m <sup>3</sup>
Outubro	10 m <sup>3</sup>

Novembro	10 m <sup>3</sup>
Dezembro	10 m <sup>3</sup>
<b>2021</b>	
Janeiro	10 m <sup>3</sup>
Fevereiro	10 m <sup>3</sup>
Março	10 m <sup>3</sup>

Fonte: autor (2024).

Nos dados levantados por Alves *et al.*, (2023) dos impactos da COVID-19 nos preços e na produção agropecuária Sergipana, apresentou-se uma diminuição mínima na produção de arroz entre 2019 (34.661 t) e 2020 (31.084 t) e aumento no beneficiamento se comparado no mesmo lapso temporal, podendo ser justificada por grande parte do arroz sergipano ser beneficiado em outros Estados, a exemplo do grupo Pindorama em Alagoas. Outro fator importante de análise da produção na época da pandemia é o aumento no valor dos alimentos, na qual a EMDAGRO (2022) verificou que o arroz apresentou uma valorização de cerca de 56,04% (R\$ 33.105,00) para o ano de 2020, quando comparado ao ano de 2019 (R\$ 22.497,00) devido à forte oferta e demanda presenciada na época crítica de pandemia.

Na sondagem sobre o impacto da COVID-19 na agricultura familiar do Estado de Sergipe, realizada pela EMDAGRO (2020), dentre as principais dificuldades na produção e comercialização dos produtos agrícolas, se destaca o aumento no custo da produção e a dificuldade de escoamento para outras localidades, destacando também alterações nos preços praticados para venda, com diminuição na demanda pelos produtos.

### 7.3.5 Pegada Hídrica da Cadeia de Suprimentos (PH<sub>cad</sub>)

A determinação da PH<sub>cad</sub> inclui a PH associada a elaboração do produto, foram considerados a média da PH do arroz com casca quantificada por Brandão; Sousa (2023) para o BSF e a determinação da PH da energia consumida pela empresa, quantificada a partir dos valores coletados em campo, estando de acordo com a equação 5.

Os dados utilizados da PH total do arroz com casca foram quantificados na região de estudo para com as safras dos anos de 2016, 2017, 2018 e 2019 levando em consideração o tamanho máximo dos lotes da região, a aplicação de químicos e a produtividade. O valor médio da PH total da fase de campo do cultivo de arroz entre os anos foi de 308,98m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>.

A média da soma dos componentes de PH<sub>verde</sub>, PH<sub>azul</sub> e PH<sub>cinza</sub> para o Brasil no período de 2000 a 2004 é de 1521 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>, contabilizado por Chapagain e Hoekstra (2010). Manke *et al.*, (2021) quantificou a PH<sub>azul</sub> e PH<sub>verde</sub> do arroz sob diferentes manejos e irrigação para o Rio

Grande do Sul onde a  $PH_{\text{azul}}$  é maior tanto na irrigação por aspersão ( $723 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ ) quanto por inundação contínua ( $419 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ ), a diferença de valores é justificada pela forma como é realizada o manejo dos cultivos e sua produtividade final influencia diretamente na quantificação dos valores não refletindo fielmente a quantificação em lavouras comerciais.

A fonte energética de um país é essencial para seu desenvolvimento, tendo em vista que a produção de eletricidade é uma tecnologia essencial para as sociedades atuais, causando impactos sociais e ambientais a depender do modo de geração de energia, contribuindo para as mudanças climáticas (Galbiatti-Silveira, 2018). As hidroelétricas correspondem a 65% da produção de energia elétrica brasileira (Veira et al., 2018).

A determinação da PH da energia foi realizada a partir do valor de referência de  $399 \text{ m}^3 \text{ GJ}^{-1}$  do banco de dados voltados a valores de geração de energia de hidroelétricas, feita de acordo com a região de consumo (Mekonnen; Hoekstra, 2011). A quantificação dos dados de consumo total da empresa para o período estudado, com um valor de  $305 \text{ m}^3 \text{ GJ}^{-1}$ .

O rio São Francisco possui grande importância nacional para a geração de energia, abastecimento e agricultura. O reservatório da hidroelétrica de Sobradinho é um dos maiores lagos de águas superficiais do mundo, Vieira et al., (2018) quantificou a PH da geração de energia no período de 2003 a 2012, contabilizando  $417 \text{ m}^3 \text{ GJ}^{-1}$ .

O valor utilizado neste estudo apresenta semelhança aos levantados pelos autores citados anteriormente, por se tratar de uma unidade industrial, o consumo é inferior aos dados utilizados em outros estudos, ambos para o reservatório de Sobradinho.

### 7.3.6 Pegada Hídrica da Empresa ( $PH_{\text{emp}}$ )

A  $PH_{\text{emp}}$  é definida como o volume total de água doce utilizado de forma direta ou indiretamente para o seu funcionamento e manutenção (Hoekstra *et al.*, 2011). Para determinação da  $PH_{\text{emp}}$  foi levada em consideração todas as equações anteriormente citadas, sendo a soma da  $PH_{\text{oper}} + PH_{\text{cad}}$ , estando de acordo com a equação 5 do capítulo II de metodologia.

O valor obtido foi de  $14.662,53 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  correspondente ao beneficiamento de 300 toneladas de arroz branco beneficiado da safra 2021 com uma média de  $4.887,51 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  de tonelada de arroz na Usina. Ao analisar os dados já levantados, a  $PH_{\text{cinza}}$  (58%) tem maior pegada dentro do processo, se sobressaindo a  $PH_{\text{azul}}$  (42%). A  $PH_{\text{oper}}$  corresponde a 98% do volume total obtido e 2% da  $PH_{\text{cad}}$  do total.

É importante enfatizar que a comparação entre a PH encontrada com outras empresas voltadas ao beneficiamento do arroz branco não foi possível, existe uma grande lacuna

científica a nível nacional e internacional quando se trata do processamento do arroz, concentrando a contabilização do consumo de água nos trabalhos desenvolvidos apenas na fase de desenvolvimento do cultivo e apenas da  $PH_{\text{azul}}$  e  $PH_{\text{cinza}}$  industrial sem aplicação da equação da  $PH_{\text{emp}}$ . Sendo assim, foi feita de forma a comparar a contribuição da PH por processo.

Os resultados aqui obtidos corroboram com os de Cordeiro (2015) para o setor Têxtil em Portugal, onde a  $PH_{\text{cinza}}$  tem grande contribuição para a  $PH_{\text{total}}$  do processo e a  $PH_{\text{oper}}$  corresponde a 98% do volume total o valor total obtido para a  $PH_{\text{emp}}$  de 1.629,293 m<sup>3</sup>. Resultados semelhantes foram encontrados para o arroz nesta pesquisa, justificado pelo aumento progressivo no beneficiamento de arroz na região.

Em outro tipo de agroindústria, Santos (2020) quantificou a PH de laticínios para o alto Sertão Sergipano na qual a  $PH_{\text{cinza}}$  representou 99,9% da  $PH_{\text{total}}$  e a  $PH_{\text{azul}}$  apenas 0,1%, estes valores demonstram o alto consumo hídrico neste tipo de agroindústria e seu alto potencial poluidor devido as etapas até chegar no produto final.

Existem indústria que utilizam sistemas de aproveitamento de água, na qual é incorporada em seus processos produtivos, Alfaro Flores (2018) determinou a PH produção de cola industrial em uma região do Peru onde evidenciou que a  $PH_{\text{cinza}}$  contribui 98% para a  $PH_{\text{total}}$ , por se utilizar de grande quantidade de químicos em sua composição a demanda de água para assimilação no corpo hídrico é grande, a  $PH_{\text{verde}}$  contribui com 2% e a  $PH_{\text{azul}}$  foi inexistente no trabalho, demonstrando que não é feito a captação de água neste tipo de indústria na região.

### 7.3.7 Pegada Hídrica do Produto ( $PH_{\text{prod}}$ )

Ao realizar o rastreamento da origem de um produtivo específico, é nítido que a cadeia produtiva é interminável e divergente devido à variedade de insumos usados em cada etapa do processo, devido isto, é importante realizar a quantificação da PH.

A  $PH_{\text{prod}}$  é definida como o volume total de água doce que é utilizado direta ou indiretamente em seu processo produtivo, podendo obter a PH do produto final através da soma das pegadas dos insumos, podendo ser calculada através da abordagem da soma das cadeias e do método sequencial cumulativo (Hoekstra et al., 2011).

O produto final da Usina de beneficiamento é o arroz branco tipo II e III, com  $PH_{\text{prod}}$  total de 300 toneladas, totalizando 12.121,28 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup> por produção e 40,40 m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>.

Na pesquisa realizada por Chapagain; Hoekstra (2010) para a  $PH_{\text{prod}}$  do arroz na perspectiva de consumo e dos subprodutos, entre 2000 -2004 em diferentes países, a média do valor para o arroz branco polido foi de 1597 m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>. Na Coreia, os autores Lee et al., (2020) e

Yoo et al., (2014) obtiveram  $844,5 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  e  $1001 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  respectivamente. Este tipo de processo gera subprodutos a partir das etapas de beneficiamento que possuem uso diverso, a exemplo do arroz quebrado, da farinha de arroz, do farelo e do germe que são processados na produção de óleos.

Os valores quantificados pelos autores são elevados se comparado aos encontrados para a Usina de beneficiamento na região de estudo, justificada pelo tipo de sistema de cultivo, maior área em hectares para contabilização da fase de agricultura e conseqüentemente um maior consumo de água, segundo Hoekstra et al., (2011), o cálculo da PH deve ser realizado de forma regionalizada devido a fatores externos e internos da etapa de produção.

Para uma Caverma têxtil, Cordeiro (2014) levantou o valor da  $\text{PH}_{\text{prod}}$  subdividindo entre os produtos levantados para quantificação da PH indireta totalizando  $35.966 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$  que são incorporadas no processo produtivo e variam de acordo com a quantidade de produtos.

Santos (2020) constatou que uma empresa de pequeno porte de laticínio no alto sertão sergipano possui alto consumo de água, com grande  $\text{PH}_{\text{prod}}$  para diferentes produtos, a mussarela ( $2.118,1013 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ ) se destaca com maior PH, seguido do queijo coelho ( $884,306 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ ), da manteiga ( $230,1503 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ ) e do requeijão ( $84,474 \text{ m}^3 \text{ t}^{-1}$ ) com menor PH.

#### **7.4 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)**

Existe uma lacuna de informações na aplicação da ACV na agroindústria do arroz e suas características regionais, se fazendo necessário a análise detalhada das etapas de aplicação de estudo sobre ACV voltados ao desenvolvimento da atividade de rizicultura nas bases de dados do *google scholar* (acadêmico), *Scopus (Elsevier)* e *Web of Science*.

A busca foi restringida de 2009 a 2024 recuperando artigos, teses e dissertações que contenham os termos requeridos nos títulos, resumos e palavras-chave, analisando com auxílio do *bibliometrix* do RStudio, a partir do software R (versão 4.3.1), com os descritores baseados no escopo desejado do estudo, correspondendo ao enfoque metodológico em comum a todos os trabalhos da pesquisa.

As definições dos descritores utilizados foram baseadas nos termos comuns para pesquisas que utilizam esta abordagem, sendo eles: “Avaliação do ciclo de Vida do arroz”, “Métodos de Impacto do Ciclo de Vida do arroz”, “*Life Cycle Assessment rice*”, “*Methods Life Cycle Assessment rice*”, “Análisis del Ciclo de Vida del arroz” e “Métodos Análisis del Ciclo de Vida del arroz”.

O uso de outros idiomas permitiu um maior alcance dos resultados, já que o quantitativo de trabalhos voltados a ACV do arroz no Brasil é escasso, obtendo assim um maior número de artigos publicados em periódicos com reconhecimento internacional no idioma inglês.

O critério de inclusão definido para a seleção dos artigos foi o seguinte: artigos publicados em português, inglês e espanhol que retratem a temática nos últimos 15 anos. Já o critério de exclusão versa sobre os artigos que não possuem o ciclo de vida do arroz no seu escopo.

Foram levantados 43 documentos que se encaixam dentro do escopo da pesquisa, analisando seus principais aspectos, sendo estes: Instituição e revista de publicação, País de estudo, Unidade Funcional, Fronteiras, Base de dados, Métodos de avaliação de impactos e categorias de análise selecionadas (Apêndice G). Na tabela 10 abaixo é possível observar a distribuição dos estudos de ACV de acordo com a revista e a localização da pesquisa.

Tabela 10 – Localização dos estudos de ACV para o cultivo do arroz.

<b>Referencia</b>	<b>Revista</b>	<b>Localização</b>
Blengini et al., (2009)	Journal of Environmental Management	Itália
Wang et al., (2010)	International Journal of Sustainable Development e world ecology	China
Khoshnevisan et al., (2014)	Science of the total environment	Irã
Mohammadi et al., (2015)	Journal of Cleaner Production	Irã
Hokazono et al., (2015)	LCA for agriculture	Japão
Frischknecht (2016)	J Life Cycle Assess	China, Índia, US
Ariyaratma; Danthurebandara (2016)	Institute of electrical and eletronic engineers	Sri Lanka
Nunes et al., (2016)	Journal of Cleaner Production	Brasil
He et al., (2017)	Journal of Cleaner Production	China
Nunes et al., (2017)	Journal of Cleaner Production	Brasil
Yodkhum et al., (2017)	Journal of Environmental Management	Irã
Palesaraei et al., (2018)	Science of the Total Environment	Irã
Jekayinfa et al., (2018)	Evento (Simpósio internacional)	Nigéria
Palesaraei et al., (2018)	Science of the Total Environment	Irã
Kamalakkannan (2018)	Evento (conferencia)	Ásia (Sri Lanka)
Amarante et al., (2018)	Journal of Agriculture and Environment for International Development	Cuba

He et al., (2018)	Journal of Cleaner Production	China
Houshyar et al., (2019)	Ecological Indicators	Irã
Masuda (2019)	MDPI - Sustainability	Japão
Rahman et al., (2019)	Journal of Cleaner Production	Malásia
Alam et al., (2019)	Journal of Cleaner Production	
Mungkung et al., (2019)	Journal of Cleaner Production	Tailândia
Habibi et al., (2019)	Environmental Monit Assesement	Irã
Dastan et al., (2020)	Journal of Geosciences	Irã
Liu et al., (2020)	Scienc of the total environment	Índia, China e Switzerland
Mungkung et al., (2020)	MDPI - Sustainability	Tailândia
Hung et al., (2020)	Capítulo de livro (Elsevier)	Filipinas
Morandini (2020)	International Journal of Plant Production	Irã
Leon et al., (2021)	Journal of Cleaner Production	Vietnam
Chen et al., (2021)	Journal of Cleaner Production	China
Jirapowaree et al., (2021)	Journal of Cleaner Production	China
Sàez (2021)	Universitat Politècnica de valència	Espanha
Gadotti (2022)	Universidade Federal de Pelotas	Brasil
Giuliana et al., (2022)	International Journal of Life Cycle Assessment	Itália
Amirahmadi et al., (2022)	MDPI - Sustainability	Irã
Escobar et al., (2022)	Journal of Environmental Management	Senegal
Mahmood et al., (2023)	Environmental Reserach	Tailândia
Paramesh et al., (2023)	MDPI - Land	Índia
Estante et al., (2023)	Philippine Journal of Crop Science	Filipinas
Aswin et al., (2023)	Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment	Indonésia
Firmino (2024)	Universidade Federal de Pelotas	Brasil
Yu Wang et al., (2024)	MDPI - Agronomy	China

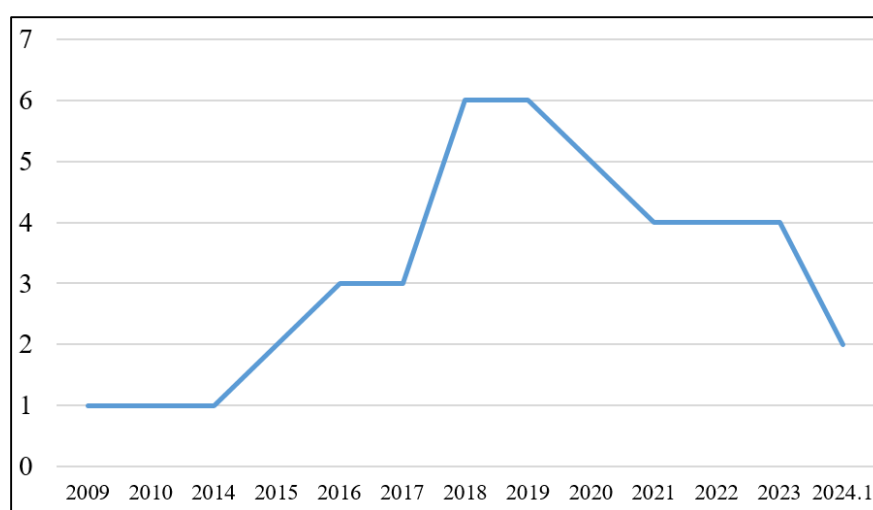
Fonte: autores (2024).

Todos os artigos levantados foram publicados em revistas com bom Fator de Impacto, sendo este um método utilizado para quantificar e qualificar periódicos científicos de acordo com as citações recebidas por trabalhos publicados, assim como capítulos de livros, teses e

dissertações encontradas, realizadas em instituições com avaliações positivas, possuindo ligação com a área das ciências ambientais em geral.

Em relação a localização geográfica, o continente asiático destaca-se na produção de estudos de ACV voltado ao arroz, a exemplo do Irã (11), China (7), Índia (4), Filipinas (2), Sri Lanka (2) e Indonésia (1). Seguido pela Europa com Itália (2) e Espanha (1), e a África Ocidental representada pelo Senegal (2) e Nigéria (1). O único representante da América do Sul é o Brasil (4), com estudos realizados na região Sul do País. A evolução do desenvolvimento de estudos voltados a ACV do cultivo de arroz pode ser observada na Figura 39 abaixo.

Figura 39 - Evolução dos trabalhos de ACV para o arroz



Fonte: autor (2024).

Existem de diversos trabalhos voltados de ACV aos coprodutos do arroz, destacando-se o uso da palha para geração de energia, nos artigos aqui analisados, buscou-se apenas os que possuíam em seu escopo a aplicação da metodologia de ACV do ciclo de produtivo de arroz, demonstrando maior desenvolvimento a partir de 2015 (2), com crescimento gradual atingindo maior volume em 2019 (7) e apenas um artigo publicado até o momento, no primeiro semestre de 2024.

#### 7.4.1 Objetivo e escopo

Nas análises dos estudos selecionados, foi evidenciado uma ampla aplicação de objetivos e escopos em diferentes localizações do mundo, sendo esta a primeira etapa fundamental para o desenvolvimento de um estudo de ACV. No continente asiático, a aplicação de estudos em ACV é diversa e possui variação a depender da localidade, o Irã é o País com maior volume de publicações dentro da Ásia, com estudos sob diferentes óticas, a exemplo da avaliação de desempenho ambiental das fazendas de arroz (Yodkhum et al., 2017; Palesaraei et

al., 2018<sup>a,b</sup>) dos impactos socioeconômicos e uso de energia (Khoshnevisan et al., 2014; Mohammadi et al., 2015; Houshyar et al., 2019), do ciclo de vida em diferentes rotações de cultura (Morandini et al., 2020) e dos impactos de vermicompostos de esterco bovino como fertilizantes orgânicos em lavouras (Amirahmadi, 2022).

Em outros países, a exemplo de China, Wang et al., (2010) a ACV foi aplicada na investigação dos impactos ambientais da produção de arroz em busca de sugestões que minimizem os impactos negativos no meio ambiente, Xueqing He et al., (2018) e Yu Wang et al., (2024) realizaram estudos parecidos de forma comparativa entre o arroz orgânico, convencional e os tipos de método de cultivo.

No Japão, estudos aplicados com essa metodologia contribuíram para a expansão da atividade de rizicultura a partir do aumento na área das fazendas de arroz na região, comparado os tipos de sistemas de cultivo e qual se adaptar melhor as localidades (Hokazono et al., 2015; Masuda, 2019). Para a Indonésia, Índia e Vietnã, a aplicação buscou determinar os impactos ambientais a nível de gases de efeito estufa - GEE, buscando alternativas para redução no plantio regional e a avaliação do desempenho ecológico das fazendas (Aswin et al., 2023; Paramesh et al., 2023; Leon et al., 2021).

No Sri Lanka o escopo dos estudos versa sobre a comparação entre o processamento de arroz parboilizado, contabilização dos impactos ambientais a nível regional e nacional com objetivo de facilitar a decisão política nacional sobre a expansão de áreas de cultivo no país (Ariyaratna et al., 2016; Kamalakkannan; Kulatunga, 2018; Mungkung et al., 2020). Para a Malásia, pequeno País que possui grande demanda deste grão, a aplicação da ACV foi realizada para quantificar a emissão de GEE e o potencial de degradação dos recursos hídricos (Rahman et al., 2019).

Com a crescente preocupações nas emissões de GEE, vem se tornando comum o uso da ACV para obtenção de declarações ambientais, Mungkung et al., (2019) aplicou como forma de apoio a indústria de arroz na Tailândia, quantificando as pegadas ambientais, requisito para possuir este tipo de declaração. Ainda no País, os autores Mahmood; Gheewala (2023) fizeram o comparativo dos sistemas de cultivo do grão de forma convencional e orgânica, considerando as incertezas associadas, destacando a similaridade do potencial de mudança climática entre os dois.

Na agricultura do continente africano o arroz possui destaque junto com outras culturas, porém o quantitativo de estudos de ACV aplicados na região ainda é mínimo, Escobar et al., (2022) aplicou a metodologia no Senegal, grande produtor de arroz na parte ocidental do continente a fim de identificar pontos críticos de sustentabilidade e potenciais melhorias para

garantia de longevidade do cultivo, já na Nigéria sua aplicação foi voltada para quantificação do uso de energia nas fazendas (Jelayinfa et al., 2018).

No continente Europeu, na Espanha foi realizada o impacto ambiental do arroz cultivado em Valência (Sàez, 2021). Já na Itália, o primeiro estudo de ACV voltado ao arroz foi realizado por Blengini; Busto (2009) no distrito de Vercelli, comparando três sistemas de cultivo e propondo cenários de melhoria para a realização da parboilização do grão. Na região norte do País, na cidade de Piemonte, primeiro distrito italiano e europeu produtor de arroz, foi realizada a avaliação do desempenho ambiental do grão e seus impactos socioambientais (Guiliana, 2022).

Para a América do Sul, destaca-se os estudos realizados na região Sul do Brasil, principal produtora do grão a nível nacional. Nunes et al., (2017) comparou o potencial de aquecimento global associada a produção e a processamento do arroz branco e integral parboilizado cultivados sob diferentes práticas agrícolas. Já Firmino (2024) e Gadotti (2021) também para a mesma região, realizaram a ACV da fase industrial e seus potenciais impactos para a longevidade da atividade.

#### 7.4.2 Unidade Funcional (UF)

Estudos voltados ao setor agrícola utilizam as UF baseadas na massa do produto ou na área plantada, considerando os diferentes tipos de sistema de plantio do arroz, existindo uma diferença após colheita no qual se difere pelo teor de umidade a depender da área de cultivo, portanto, a UF comumente utilizada para este tipo de produto é a unidade comercial do produto em quilograma.

Nos estudos analisados, os autores utilizaram diferentes UF. Além do quilograma, a palha do arroz, que é produzida juntamente com o grão durante seu cultivo e aproveitada para geração de bioenergia devido seu alto teor calorífico, vem sendo utilizada como UF permitindo contabilizar os impactos ambientais da produção dos grãos, utilizada por He et al., (2018) para a China e Amirahmadi (2022) para o Irã.

No entanto, nas análises realizadas, não refletem unicamente a unidade no qual é realizada os estudos, onde, em diferentes continentes é utilizada 1 kg de arroz para a elaboração dos inventários de fluxos (Blengini et al., 2009; Mohammadi et al., 2015; Frischknecht, 2016; Nunes et al., 2016; Nunes et al., 2017; Yodkhum et al., 2017; Jekayinfa et al., 2018; Kamalakkannan, 2018; Jekayinfa et al., 2018; Houshyar et al., 2019; Munkung et al., 2019; Houshyar et al., 2019; Liu et al., 2020; Jirapowaree et al., 2021; Escobar et al., 2022; Sàez,

2021; Escobar, 2022; Aswin et al., 2023). Segundo Hung et al., (2020), para a ciência do arroz, a UF mais comum é por kg ou tonelada de grão colhido definido pelo pesquisador responsável.

Alguns optam pela unidade em 1 hectare (Masuda, 2019; Munkung et al., 2020; Leon et al., 2021; Chen et al., 2021; Giuliana, 2022; Masuda, 2023; Paramesh et al., 2023; Estante et al., 2023; Paramesh, 2023; Yu Wang, 2024).

Podendo ser em 1 tonelada (Wang et al., 2010; Khoshnevisan et al., 2014; Hokazono et al., 2015; He et al., 2017; Palesaraei et al., 2018; Palesaraei et al., 2018; Amirahmadi, 2019; Rahman et al., 2019; Alam et al., 2019; Habibi et al., 2019; Dastan et al., 2020; Morandini et al., 2020; Amirahmadi et al., 2022; Mahmood et al., 2023), ou em mais toneladas, a depender do escopo do estudo (Ariyarathna, 2016; Amarante et al., 2018).

#### 7.4.3 Fronteiras do Sistema

Diferentes fronteiras de sistema foram utilizadas nos estudos revisados, 72% dos artigos levantados definiram sua fronteira como do Berço ao Portão (*Cradle-to-Gate*) que consideram a parte do ciclo de vida de um produto, processo ou serviço, da extração dos recursos naturais do solo até o fim do processo de produção dentro da empresa. Estudos como o de Habibi et al., (2019), Hung et al., (2020), Firmino (2024) e Escobar et al., (2022) utilizaram este tipo de fronteira para avaliação da fase de campo e beneficiamento na empresa, destacando maior contribuição do cultivo na avaliação dos impactos da ACV.

Estudos do Berço ao Túmulo (*Cradle-to-Grave*) levam em consideração a avaliação de todos os impactos associado a produção desde a extração dos recursos naturais até a respectiva disposição final do produto, sendo a última etapa difícil de avaliar, este tipo de fronteira foi encontrado em 19% dos artigos analisados. No levantamento feito por Blengini et al., (2009), Freischknecht et al., (2016), Nunes et al., (2017), Jekayinfa et al., (2018), Palesaraei et al., (2018), Houshyar et al., (2019), Liu et al., (2020) considerando toda produção a partir do cultivo, transporte e beneficiamento para consumo, os impactos foram variados, destacando as emissões de gases de efeito estufa e indicando possíveis mitigações como a diminuição de fertilizantes e o aumento de materiais orgânicos na produção, assim como, a reciclagem dos resíduos utilizados na produção.

Para o cultivo de arroz na região do BSF a definição da fronteira do estudo se deu a partir do quantitativo de dados coletados *in loco*, permitindo a caracterização do sistema do berço ao túmulo, com informações referentes ao plantio, colheita, transporte, beneficiamento e embalagem.

Nos resultados obtidos por Aswin et al., (2023), os impactos do cultivo e beneficiamento do arroz foi quantificado a partir da inventariação dos dados de cultivo, identificando os fluxos das matérias-primas dentro do ciclo de produção do produto final e seus potenciais impactos ao meio ambiente, destacando-se a emissão de gases de efeito estufa e os processos de acidificação e eutrofização dos recursos hídricos.

Estudos do Portão ao Portão (*Gate-to-Gate*) demonstraram ser minoria, apenas 9% dos estudos analisados, levando em consideração apenas uma pequena parte do ciclo de vida já na parte de beneficiamento dos grãos. Ariyaratna et al., (2016) realizaram a comparação da ACV entre o modo convencional e moderno de parboilização dos grãos, destacando maior impacto ambiental nos sistemas modernos.

Kamalakkannan e Kulatung (2018) concluíram que a indústria do arroz é uma das que mais consome energia e o uso do resíduo da casca que é descartada poderia ser utilizada como bioenergia, levando a redução do uso de eletricidade e custo. Firmino (2024) e Gadotti (2021) destacaram que as categorias de impactos referentes ao uso de recursos hídricos possuem perfil de potencial poluidor para a região Sul do Brasil.

Estes critérios de avaliação devem possuir clareza no momento da definição dos limites do sistema, demonstrando coerência com o objetivo e o escopo do estudo e suas características regionais e locais para definir as categorias de impacto a serem analisadas.

#### 7.4.4 Software e bases de dados

Estudos de ACV demandam grande quantitativo de informações sobre as centenas de fluxos caracterizados como entrada e saídas, necessitando do uso de softwares específicos para sistematização dos resultados. É comum o uso de diferentes softwares para o processamento dos dados levantados na fase de inventário, dos estudos analisados, nem todos possuem a especificação ou menção do software utilizado para análise e categorização dos impactos.

Para os estudos, os softwares foram variados, dentre os citados nos artigos, destaca-se o SimaPRO em diferentes versões, necessitando este de uma assinatura paga para uso (Blengini et al., 2009; Khoshnevisn et al., 2014; Hokazono et al., 2015; Ariyaratna, 2016; Nunes et al., 2016; Nunes et al., 2017; Habibi et al., 2019; Hung et al., 2020; Morandini et al., 2020; Leon et al., 2021; Paramesh et al., 2023; Estante et al., 2023), o Gabi, também de acesso pago (Escobar et al., 2022) e o OpenLCA, único software de livre acesso para modelagem, cálculos e avaliações de ACV que possui limitações (Amirahmadi et al., 2022; Gadotti et al., 2022), além do uso do excel e outras formas de análise (Kamalakkannan, 2018; Masuda, 2019; Rahman et al., 2019; Liu et al., 2020; Aswin et al., 2023; Masuda, 2023, Yu Wang et al., 2024).

É predominante o uso de softwares pagos em grande parte dos estudos, vinculados a instituições de pesquisas com licenças compradas, garantindo aos pesquisadores o acesso ilimitado para o desenvolvimento de trabalhos voltados a ACV, assim como, empresas que trabalham diretamente com a ferramenta na prestação de serviços e análise de ecoeficiência de produtos. Para quantificação do que foi coletado nos inventários, é necessário o uso de bases de dados específicas juntamente em conjunto aos programas de ACV, algumas do mesmo fornecedor do software ou de outras fontes.

Diante dos estudos analisados, 63% não citam qual a base de dados utilizada, 28% utilizam a Ecoinvent, que possui uma grande quantidade de inventários associados a diferentes produtos e processos, possuindo versão mais antigas gratuitas e versão mais recentes pagas. 5% utilizam a Agrifootprint e 4% a Agribalyse, ambas voltadas a agricultura com banco de dados completos sobre a produção de alimentos e outros insumos agrícolas.

As gerações destas bases se dão a partir da realização de estudos exploratórios de ACV e da qualidade dos dados coletados, sendo a ICV fase primordial que contribuem no desenvolvimento da ferramenta, atualmente o Brasil, possui dados regionalizados dentro destas bases, facilitando na modelagem das categorias de impactos a nível regional e nacional.

#### 7.4.5 Métodos de AICV

Atualmente existem mais de 50 métodos de AICV disponíveis na Europa, com técnicas específicas referentes aos impactos ambientais que integram o escopo das avaliações feitas em diferentes regiões. Nos estudos levantados é possível entender a dinâmica de métodos utilizados (Tabela 11) para contabilização dos impactos da ACV de acordo com o escopo dos estudos, alguns artigos não possuem esta informação no corpo do texto.

Tabela 11 - Principais métodos em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida de 2009 a 2024.

Metodologia		Desenvolvida por	Quantitativo
Eco Indicator 99 Method		Pré Consultants B. V	Kamalakkannan (2018)
IPCC GWP 100 <sup>a</sup>		IPCC	Yodkhum et al (2017); Kamalakkannan (2018); Rahman et al., (2019); Munkung et al., (2019; Leon et al., (2021).
ReCiPe 2016		Instituto Nacional de Saúde Pública e Meio Ambiente dos Países baixos.	Ariyaratna (2016); Amarante et al., (2018); Amirahmadi (2019); Habibi et al., (2019); Dastan et al., (2020); Munkung et

---

		al., (2020); Sáez (2021), Giuliana (2022); Amirahmadi (2022); Paramesh (2023).
CML 2001	Instituto de Ciências Ambientais da Universidade de Leiden na Holanda.	Khoshnevisan et al., (2014); Hokazono et al., (2015); Nunes et al., (2017); Houshyar et al., (2019); Chen et al., (2021); Firmino (2024); Gadotti (2022); Giuliana (2022).

---

Fonte: autor (2024).

Os métodos possuem funções de orientar os pesquisadores na escolha e aplicação de acordo com a análise dos dados inventariados e do escopo do estudo, a exemplo do que foi observado *in loco* e que contribuem para a escolha das categorias de impacto, sendo desenvolvidos por diferentes institutos.

Quando se trata dos potenciais das mudanças climáticas, a relevância dos relatórios do IPCC é citada, o método de GWP 100<sup>a</sup> que se baseia em dados publicados pelo Painel, sendo expressado nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) gerados em quilogramas de CO<sub>2</sub> equivalente em um horizonte temporal de 100 anos. É um dos principais métodos contabilizados devido sua importância, possuindo relevância em todos os setores de aplicação da ACV, se fazendo presente nas discussões sobre uso de recursos naturais.

Dentre os métodos citados, o ReCiPe destaca-se devido o quantitativo de estudos que o utilizam, fornecendo fatores de caracterização representativa a escala global, podendo agrupar os resultados intermediários, chamados de “*mindpoints*” e os de causa e efeito, chamados de “*endpoint*” (Saade; Silva; Gomes, 2015). Este método é utilizado para análises detalhadas dos potenciais impactos ao meio ambiente, sendo necessária revisão para seleção das categorias que melhor abrange a região de estudo, estando de acordo com o objetivo, escopo e fronteira.

A abordagem do método CML é de ponto médio, assim como os citados anteriormente, possui categorias para caracterização dos impactos ambientais causados por serviços e produtos e nos estudos analisados é o segundo mais utilizado.

No trabalho de Aswin et al., (2023), o mesmo não fez uso de softwares voltados a ACV para a realização do seu estudo, os processamentos dos dados foram feitos inteiramente pelo software Excel da Microsoft, envolvendo os cálculos, apresentando os resultados em tabelas, diagramas e gráficos a partir de fórmulas pré-determinadas para realização da análise de impacto.

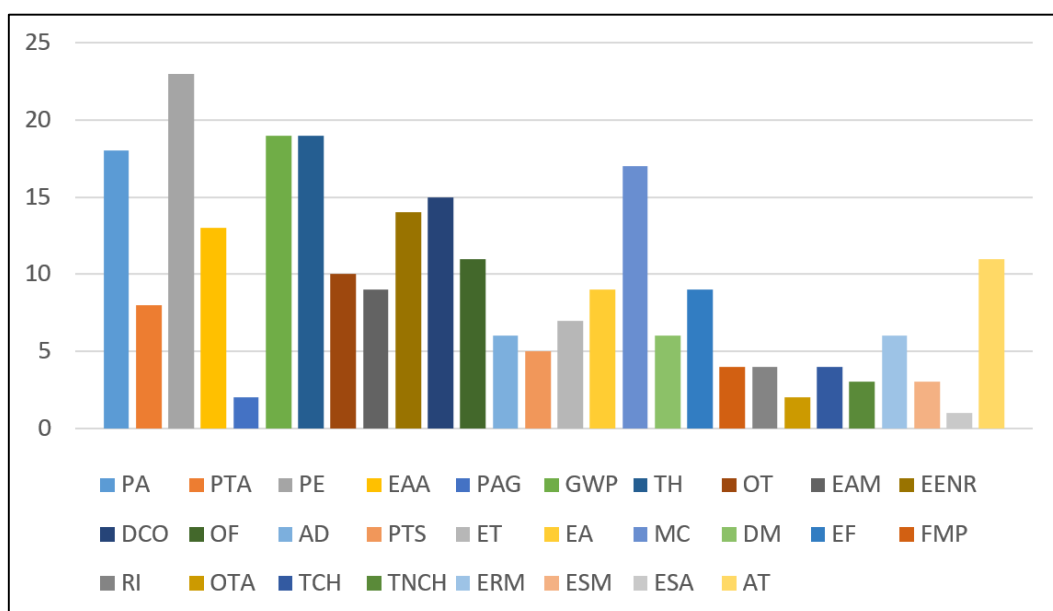
Os autores Yu Wang et al., (2024) analisaram os impactos do cultivo de arroz partir do *eFootprint system*, sistema chinês que apoia pesquisa profissionais, com confiança sobre

produtos com avaliação integrada na gestão da pegada de carbono e do ciclo de vida de produtos.

#### 7.4.6 Categorias de impactos

A localização dos estudos analisados sobre o cultivo de arroz em diferentes países e continentes possui impacto direto na seleção das categorias estudadas, o que explica a ampla variedade aqui apresentadas (Figura 40). Essa diversidade de categorias se dá por várias razões, incluindo as diferenças nos sistemas de cultivo, as práticas de preparo do solo, os métodos de irrigação e a quantidade de insumos utilizados, bem como as diferentes abordagens adotadas pelos autores, como definição da unidade funcional e limites do sistema considerados na escolha dos métodos e das categorias.

Figura 40 – Categorias de impactos ambientais selecionadas nos estudos.



Fonte: autores (2023).

Potencial de Acidificação (PA), Potencial de toxicidade aquática (PTA), Potencial de Eutrofização (PE), Ecotoxicidade Aquática de Água Doce (EAA), Potencial de Aquecimento Global (PAG), GWP para um horizonte temporal de 100 anos (GWP), Toxicidade Humana (TH), Ocupação de Terra (OT), Ecotoxicidade Aquática Marinha (EAM), Esgotamento de energia não renovável (EENR), Destruição da Camada de Ozônio (DCO), Oxidação Fotoquímica (OF), Depleção Abiótica (AD), Potencial de toxicidade do solo (PTS), Ecotoxicidade Terrestre (ET), Esgotamento de Água (EA), Mudanças Climáticas (MC), Depleção de Metal (DM), Esgotamento Fóssil (EF), Formação de Material Particulado (FMP), Radiação ionizante (RI), Ocupação de terras agrícolas (OTA), Toxicidade cancerígena humana (TCH), Toxicidade não cancerígena humana (TNCH), Escassez de recursos minerais (ERM), Ecotoxicidade de Sedimentos Marinhos (ESM), Ecotoxicidade de Sedimentos de Água Doce (ESA), Acidificação terrestre (AT).

Foram identificadas um total de 28 categorias de “*mindpoints*” e “*endpoints*” nos 45 artigos analisados, com destaque para o PE, contabilizado em 23 pesquisas. Este é um importante indicador de qualidade dos ecossistemas aquáticos devido o enriquecimento provocado pelo aumento de matéria orgânica em rios e lagos, causando o desenvolvimento de

algas que afetam diretamente a vida aquática e os níveis da demanda de bioquímica de oxigênio (DBO), influenciado diretamente pelos compostos químicos utilizados na atividade de rizicultura.

Outra categoria destacada é o GWP, abordado em 19 estudos. Este avalia a capacidade de um determinado gás em reter calor na atmosfera em relação ao dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) ao longo de um período de 100 anos, conforme o IPCC, sendo utilizada para medir os impactos das emissões de GEE associadas ao processo de desenvolvimento e beneficiamento do arroz, estando as MC (17), a DCO (15) e o EENR (14) associadas diretamente a estes resultados.

Dentre as categorias mais analisadas, existe uma relação entre o TH (19), o PA (18), AT (11) e OT (10) em estudos de ACV quando analisado o ciclo completo de um sistema ou produto, é possível verificar a relevância das categorias quando trata-se de estudos voltados ao arroz relacionados ao uso do solo.

Os diferentes químicos aplicados durante o desenvolvimento do cultivo impactam a saúde humana a curto e longo prazo, assim como os resultados de potenciais poluentes atmosféricos, a exemplo do enxofre (SO<sub>x</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), liberados em campo por maquinários de pré-plantio, colheita e caminhões de transporte.

Durante o desenvolvimento dos estudos outras categorias foram quantificadas com menor frequência, a exemplo da PAG (2), analisada em outras categorias voltadas a mudanças climáticas com maior relevância. E a baixa análise de ESM (3) se dá devido à localização dos estudos e o uso apenas de água doce para o desenvolvimento, possuindo o arroz baixa tolerância a ambientes salinos.

## **8. ACV do cultivo e beneficiamento do arroz no baixo São Francisco**

Os resultados apresentados a seguir não foram analisados de forma comparativa entre as etapas de cultivo e processamento do arroz devido diferenças nas entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) envolvidas. É importante ressaltar que, embora as práticas sejam distintas, as categorias de impacto ambiental analisadas são semelhantes, permitindo compreender de forma abrangente os efeitos ambientais nos diferentes estágios de produção do arroz na principal região produtora em Sergipe, destacando o maior potencial poluidor por categoria. Importante pontuar que a etapa de cultivo se destaca nos impactos ambientais, não possuindo o beneficiamento grande contribuição quando desassociado da produção do grão.

## 8.1 Avaliação dos impactos ambientais do ciclo de vida do arroz (AICV)

Depois da inserção dos dados levantados no inventário no software OpenLCA v.2.11, foi realizada a modelagem dos resultados, estabelecendo processos e sistemas do produto utilizando a base de dados Agribalyse 3.1, com informações coletadas em campo e através de dados secundários. Optou-se pelo método CML *baseline* para análise. As categorias de impacto selecionadas para avaliação estão apresentadas no capítulo de percurso metodológico.

Os resultados da AICV estão divididos em duas partes. Na primeira, estão caracterizados e analisados os impactos ambientais decorrentes do cultivo do grão de arroz. Na segunda, analisa os resultados das categorias para o processamento.

### 8.1.1 AICV do cultivo do arroz

Os impactos resultantes da fase de cultivo do arroz realizado de forma convencional obtidos encontram-se apresentados separados por categoria abaixo, as discussões foram feitas de acordo com os limites do sistema e a unidade funcional. Foram calculados de acordo com o inventário para diagnóstico do cultivo em uma área de 4.2 hectares, tamanho médio dos lotes na região. Na Tabela 12 está representada os valores de acordo com a categoria analisada.

Tabela 12 - Comparação dos valores entre as categorias para etapa de cultivo do grão na região BSF sergipano.

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Resultado Campo</b>	<b>Unidade</b>
Potencial de acidificação	2.72569e+2	kg SO <sub>2</sub> eq
Potencial de eutrofização	7.96800e+1	kg PO <sub>4</sub> eq
Potencial aquecimento global (GWP)	5.01964e+4	kg CO <sub>2</sub> eq
Toxicidade Humana	2.56864e+4	kg 1,4-DB eq
Depleção da camada de ozônio	5.75716e-3	kg CFC-11 eq
Ecotoxicidade de água doce	2.05034e+4	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade Terrestre	1.47984e+2	kg 1,4-DB eq

Fonte: autor (2024).

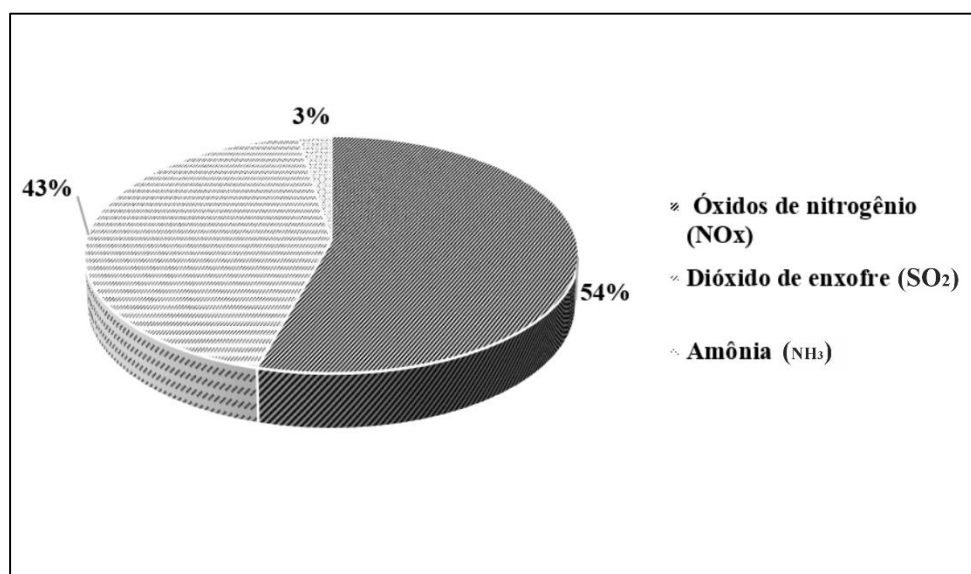
Devido ao baixo quantitativo de estudos baseados na UF de 1kg para o cultivo de arroz, dentro do sistema utilizado neste trabalho, a comparação dos resultados expande-se para outras UF, a exemplo de 1 ton e 1 ha, demonstrando assim qual categoria possui maior impacto dentro do sistema de cultivo.

### 8.1.2 Potencial de Acidificação (PA)

Os poluentes acidificantes possuem ampla gama de efeitos adversos no solo, nos organismos biológicos, nos ecossistemas e nas águas subterrâneas e superficiais. Os usos de produtos com estas propriedades comprometem a qualidade ambiental, a exemplo da queima de combustíveis fósseis e suas emissões, sendo uma categoria importante de análise de AICV (Guineé et al., 2002). O fator de caracterização para acidificação é expresso em quilograma de dióxido de enxofre equivalente (kg SO<sub>2</sub> eq),

Os resultados para o cultivo de arroz no BSF de acordo com a UF foi de 2.72569e+2 SO<sub>2</sub> eq. As emissões de óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) contribuíram com 54% do valor total quantificado para a categoria, seguido do dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) com 43% e a amônia (NH<sub>3</sub>) com 9%, todas quantificadas para o ar. É possível observar na Figura 41 as contribuições.

Figura 41 - Contribuição dos componentes químicos para a categoria de acidificação na região BSF sergipano.



Fonte: autor (2024).

Estes valores apresentados se encontram associados ao consumo e queima de diesel na etapa de preparação do terreno com maquinário específico para retirada de ervas daninhas, da colheita do arroz produzido e do transporte do grão até a usina de beneficiamento. Estas substâncias são caracterizadas como as principais emissões para a categoria analisada.

Os valores quantificados e comparados estão baseados na UF de 1kg para os estudos levantados, em diferentes regiões e objetivos. Mohammadi et al., (2015) investigaram melhorias utilizando a ACV e a Análise Envoltória de Dados para produção de arroz com casca na estação de primavera e verão, onde a AD total foi de 23,7 kg SO<sub>2</sub> eq, justificado pelo alto

consumo de diesel para irrigação do cultivo no Irã, onde as contribuições levantadas corroboram com as encontradas e discutidas pelos autores.

Ainda no Irã, Khoshnevisan et al., (2014) encontram um valor de 3,46 kg SO<sub>2</sub> eq, enquanto o encontrado por Nabavi-Pelesaraei (2018) foi de 15,78 kg SO<sub>2</sub> eq, com maiores contribuições associadas aos campos alagados das fazendas de arroz do condado de Rasht, devido à sua grande extensão, bem como ao uso e produção de fertilizantes químicos e naturais. Na Tailândia, Mahmood et al., (2023) obtiveram 6760 kg SO<sub>2</sub> eq, com maior impacto atribuído aos fertilizantes, que foram os maiores contribuintes para as emissões no sistema convencional de cultivo em toneladas.

Em um estudo de ACV realizado no oeste da África, no Senegal, Escobar et al., (2022) obtiveram um total de 1,88E-2 kg SO<sub>2</sub> eq, apresentando valores muito menores em comparação os aqui levantados. Isto é justificado pelas diferenças nas práticas agrícolas adotadas na região, com quantitativo maior de entradas e saídas.

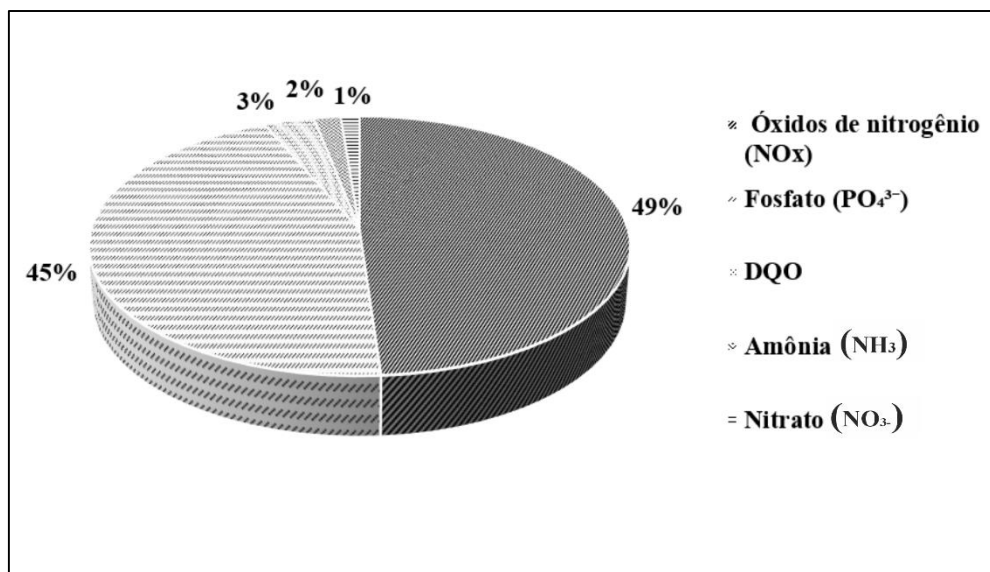
A volatilização de NH<sub>3</sub> nos subsistemas agrícolas e as emissões de SO<sub>2</sub> na etapa de produção e transporte são os principais contribuintes para o PA. Nos resultados obtidos por Wang et al., (2010), o valor quantificado para um sistema de cultivo na China para uma tonelada de arroz foi de 21,71 kg SO<sub>2</sub> eq de NH<sub>3</sub>, sendo responsável por 92,76% do valor total da categoria, demonstrando que o NH<sub>3</sub> sobressai aos outros tipos de emissões em grande parte dos estudos voltados ao cultivo de arroz. Ainda na China, na região subtropical, Xueqing He et al., (2018) obteve um valor de 7,5 kg SO<sub>2</sub> eq, com o NH<sub>3</sub> representando 82% no sistema convencional de cultivo.

### 8.1.2 Potencial de Eutrofização (PE)

Esta categoria examina possíveis efeitos da elevação dos macronutrientes no ambiente, com foco especial no nitrogênio (N) e no fósforo (P) devido sua relevância. Este aumento pode provocar mudanças indesejáveis na composição das espécies, afetando diretamente os ecossistemas aquáticos e terrestres (Guineé et al., 2002). O fator de caracterização para eutrofização terrestre é expresso em kg de fosfato equivalente (kg PO<sub>4</sub> eq).

Os resultados desta etapa da produção foi de 7.96800e+1 PO<sub>4</sub> eq. Dentro desta categoria, as emissões para o ar foram representadas pelos óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) com 49% e pela amônia (NH<sub>3</sub>) com uma contribuição de 2% para o resultado total. Outro tipo de emissão importante para esta quantificação é para a água, destacando-se o fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) com 45%, a Demanda Química de Oxigênio (DQO) com 2% e o nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) representando 1% das contribuições totais. Na Figura 42 é possível observar as contribuições.

Figura 42 - Contribuição dos componentes químicos para a categoria de eutrofização do arroz na região BSF sergipano.



Fonte: autor (2024).

As emissões para o ar são provenientes da queima de combustível na etapa de cultivo do arroz, apresentando similaridade com as mencionadas na categoria de acidificação, embora possuam unidades de quantificação diferentes. Para a água, as emissões estão relacionadas a produção e uso de fertilizantes fosfatados utilizados no desenvolvimento do cultivo, assim como aos agroquímicos aplicados. Isto demonstra que a utilização destes compostos apresenta potencial significativo de poluição dos recursos hídricos.

O PE encontrado por Mohammadi et al., (2015), em fazendas de arroz no Irã, foi de 51,8 kg PO<sub>4</sub> eq, com maior contribuição atribuída ao consumo de diesel nas operações, corroborando com os resultados levantados neste estudo. Nabavi-Pelesaraei (2018) encontraram um valor de 5,45 kg SO<sub>2</sub> eq, com maiores contribuições associadas à grande extensão de campos alagados das fazendas de arroz do condado de Rasht.

Ainda no Irã, Amirahmadi et al., (2019) encontraram um valor de 1,33 kg PO<sub>4</sub> eq, para o sistema convencional de 1 tonelada, devido as emissões de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, que são contribuições fundamentais para o processo de eutrofização.

Na China, a categoria de PE foi quantificada de acordo com UF de 1 tonelada de arroz, caracterizando-se como maior impacto do estudo realizado por Wang et al., (2010). Xueqing He et al., (2018) foi de 1,9 kg PO<sub>4</sub> eq, representado pelas emissões de P e NH<sub>3</sub>.

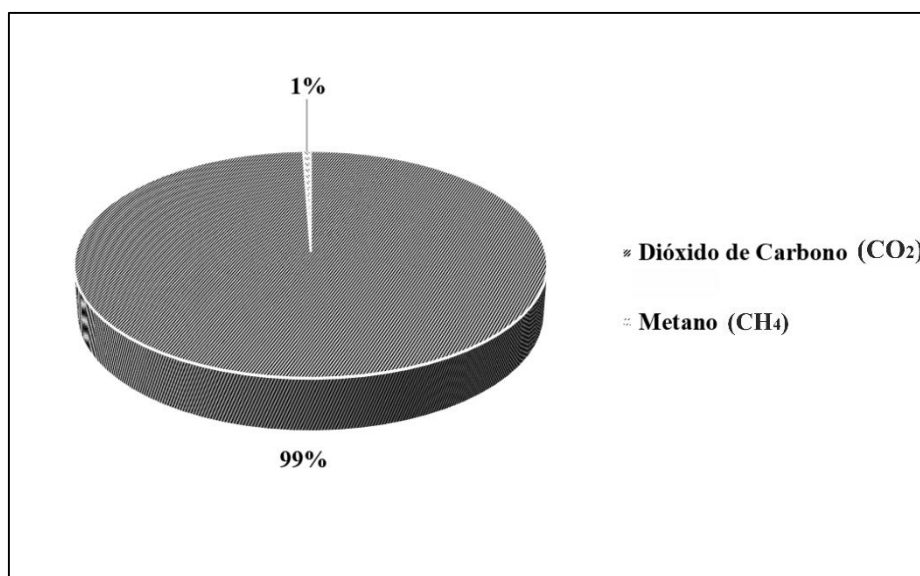
Para a Espanha, Sàez (2021) afirmou que as emissões na fase de campo são compostas por 99,97% de fósforo (0,0578 kg PO<sub>4</sub> eq), tanto devido à produção quanto à liberação de fósforo na água durante o processo de fabricação dos fertilizantes

### 8.1.3 Potencial de Aquecimento Global (GWP)

O aquecimento global, responsável pelas mudanças climáticas acontece devido a adição de GEE na atmosfera proveniente da queima de combustíveis fósseis, práticas agrícolas e certas práticas industriais, provocando alterações significativas no sistema climático da terra (Presumido, 2017). O fator de caracterização para o potencial de aquecimento global é expresso em kg de dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub> eq) e os principais gases que contribuem significativamente para essa categoria são N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> e o CO<sub>2</sub>.

Os resultados desta etapa da produção totalizaram 5.01964e+4 kg CO<sub>2</sub> eq. Essa categoria quantifica exclusivamente as emissões para a atmosfera, compostas pelo CO<sub>2</sub>, representando 99% do total, e CH<sub>4</sub>, contribuindo com 1% para o resultado global. Na Figura 43, podem ser observados as respectivas contribuições proporcionais.

Figura 43 - Contribuição dos componentes químicos para a categoria de GWP do arroz na região BSF sergipano.



Fonte: autor (2024).

Dentre todas as categorias analisadas, esta destaca-se devido os expressivos valores encontrados de acordo com UF do estudo. A etapa mais contribuinte é o transporte, devido a produção e o consumo de diesel, assim como a emissão do metano associada aos equipamentos utilizados na produção, como também a produção do arroz inundado. Os valores comparativos a seguir possuem valores de UF diferentes, porém demonstrando a importância da categoria para o sistema do arroz.

Assim como os valores levantados nestes estudos, a categoria de GWP destaca-se dentre as demais analisadas em estudos de ACV para o arroz. Esta categoria é comumente identificada como a de maior impacto, conforme observado em diversos estudos de ACV voltados ao arroz.

Mohammadi et al., (2015) observaram um total de 3174 kg CO<sub>2</sub> eq., para 1kg de arroz, enquanto Nabavi-Pelesaraei (2018) 1166 kg SO<sub>2</sub> eq para 1 tonelada, com maior contribuição do CH<sub>4</sub> emitido dos arrozais em ambos, representando mais da metade das emissões de GEE.

No Brasil, estudos realizados na região sul para o cultivo e beneficiamento de arroz mostraram que Nunes et al., (2016) obtiveram o valor de 15,80 kg CO<sub>2</sub> eq., para 1kg de arroz, com maior contribuição advinda do CH<sub>4</sub> biogênico emitido (8,50 kg CO<sub>2</sub> eq) e 3.82 kg de CO<sub>2</sub> eq associado ao elevado uso fertilizantes sintéticos e ao consumo de diesel na etapa de transporte. Esta etapa de plantio possui as maiores emissões, assim como os resultados encontrados para o arroz sergipano, onde os gases NO<sub>x</sub> são expressivos nas etapas de preparo.

Há uma diferença significativa entre os valores de emissões de um plantio convencional e um orgânico, associada às práticas agrícolas utilizadas. Em Thai na Indonésia, Mungkung et al., (2019) analisaram as emissões, obtendo 87,44 kg CO<sub>2</sub> eq, CH<sub>4</sub> (3,89kg kg CO<sub>2</sub> eq) e os gases NO<sub>x</sub> (3,15 kg CO<sub>2</sub> eq), todas referentes à produção e consumo de combustíveis fósseis, especialmente na etapa de colheita do grão.

Nos resultados de Escobar et al., (2022) para o cultivo no vale do rio Senegal, na África, a categoria de GWP destaca-se com maior potencial de impacto para 1kg de arroz, com 1,98 kg CO<sub>2</sub> eq emitido, justificado pela etapa de produção de fertilizantes que possui significantes impactos no consumo de energia e em recursos minerais.

Na Tailândia, Yadhkhum et al., (2017) quantificaram as emissões de GWP, totalizando 1300 kg CO<sub>2</sub> eq, com emissões diretas e indiretas de N<sub>2</sub>O estimadas em 322 kg CO<sub>2</sub> eq e 141 kg CO<sub>2</sub> eq, respectivamente. Estas emissões concentram-se na queima de diesel pelos processos em campo, especialmente na etapa de transporte.

Para a China, Wang et al., (2010), assim como outros autores citados anteriormente, demonstram que a categoria de GWP é uma das mais impactantes, possuindo ligação direta com o consumo de diesel para o desenvolvimento do cultivo. Xueqing He et al., (2018) observaram uma diferença significativa entre o arroz convencional, com maior contribuição para o GWP, em comparação ao orgânico devido as práticas agrícolas utilizadas.

Na etapa de cultivo na região oeste de Sumatra, na Indonésia, Aswin et al., (2023), identificaram a maior contribuição de CH<sub>4</sub>, com 1160 kg CO<sub>2</sub> eq. por ano, seguida pelo CO<sub>2</sub> com 120 kg CO<sub>2</sub> eq., e menor impacto na emissão de N<sub>2</sub>O, diretamente ligado à etapa de transporte. Ao analisar os resultados obtidos neste estudo em comparação com a literatura,

observa-se que as emissões se concentram predominantemente nas operações de plantio e colheita, resultando em emissões de CO<sub>2</sub> eq. para a atmosfera. Esses achados corroboram os resultados apresentados por Khoshnevisan et al., (2014), totalizando 74,5 kg CO<sub>2</sub> eq.

#### 8.1.4 Toxicidade Humana (TH)

Esta categoria abrange os impactos na saúde humana por substâncias tóxicas presentes no meio ambiente, contabilizando os riscos decorrentes a exposições (Guineé et al., 2002). O fator de caracterização para eutrofização terrestre é expresso em kg 1,4-diclorobenzeno equivalente (kg 1,4-DB eq).

O resultado obtido para este impacto foi a segunda maior dentre as analisadas, destacando-se por possuir emissões para o ar, tendo o NO<sub>x</sub> com maior contribuição (99%), justificada pelo alto consumo de combustível no sistema produtivo do arroz.

Além do níquel (Ni), Cádmiio (Cd) e Cromo (Cr) associados a efeitos carcinogênicos a curto e longo prazos, presentes na produção dos equipamentos utilizados na agricultura da região, ocorre também a liberação de benzeno (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), associado a limpeza das áreas para produção do arroz. Outro composto emitido para o ar é o fluoreto de hidrogênio (HF), o qual, quando inalado ou em contato com a pele, pode causar queimaduras graves e danos ao sistema respiratório. Embora todos esses elementos tenham sido identificados na análise, a quantidade é baixa comparada aos gases NO<sub>x</sub>.

As emissões para a água quantificadas também são baixas, destacando os compostos químicos, Vanádio (V), Molibdênio (Mo), Selênio (Se) e Berílio (Be), todos prejudiciais à saúde humana, podendo ocasionar diversos sintomas, desde irritação na pele e olhos, até danos ao sistema nervoso. Estes elementos químicos possuem relação direta às práticas agrícolas com fertilizantes e agroquímicos utilizados na agricultura da região, demonstrando a importância do manejo responsável para o controle de emissões e minimização dos riscos à saúde humana.

Escobar et al., (2022) obtiveram um valor de 8,93e-9 kg 1,4-DB eq para a TH, com valores associados principalmente ao transporte de insumos agrícolas, a irrigação e a produção de fertilizantes, com doses e tipos diferentes do que utilizado na região do baixo São Francisco.

No estudo de Khoshnevisan et al., (2014) para o Irã, a categoria de TH foi a segunda maior, com um valor de 327,60 kg 1,4-DB eq, devido ao elevado valor de fosfatos associados à produção do maquinário utilizado em campo, com pouca contribuição do diesel que é um dos principais componentes impactantes dentre outras categorias. Ainda no Irã, Nabavi-Pelesaraei

(2018) obtiveram 180,46 kg 1,4-DB eq, ambos com uma UF de 1 tonelada, com maior contribuição da produção de pesticidas e do consumo de diesel.

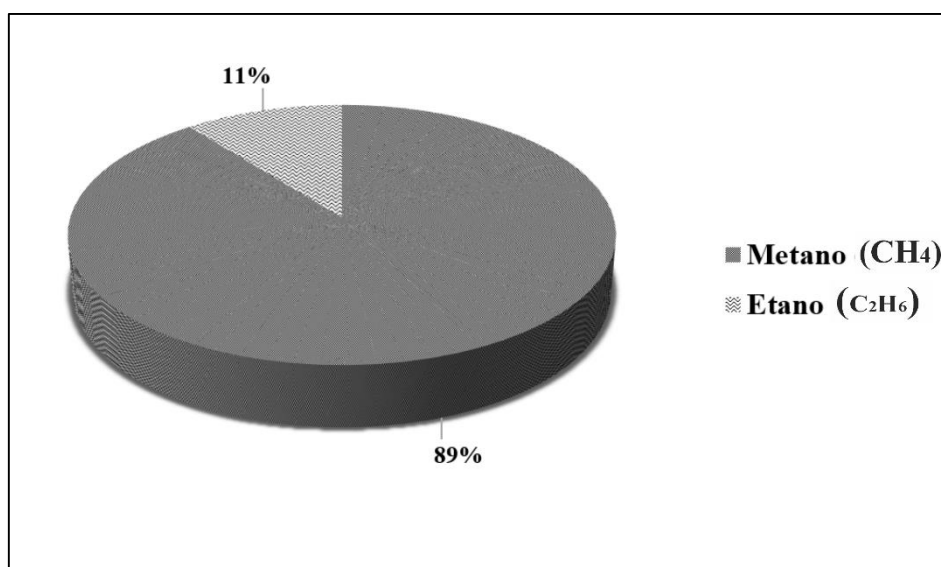
No estudo realizado por Xueqing He et al., (2019), para a China, a TH obteve o valor de ,1 kg 1,4-DCB-eq por tonelada, demonstrando maiores valores se comparado ao cultivo orgânico e para a Espanha, Sàez (2021) concluiu que a maior contribuição para a categoria é devida o maquinário, a produção e aplicação dos fertilizantes e pesticidas.

#### 8.1.5 Depleção da Camada de Ozônio (DCO)

Refere-se ao afinamento da camada de ozônio como resultado de emissões antrópicas, prejudiciais à saúde humana e ecossistema, aumentando a exposição terrestre aos raios ultravioletas prejudiciais. O fator de caracterização para depleção da camada de ozônio é expresso em kg clorofluorcarbono (kg CFC-11 eq), para diferentes gases com potencial de impacto.

Os resultados desta etapa da produção totalizaram  $5.75716e-3$  kg CFC-11 eq. Essa categoria quantifica exclusivamente as emissões para a atmosfera, compostas pelo Metano ( $\text{CH}_4$ ), correspondendo a 89%, e o Etano ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), com contribuição de 11% do total. Na Figura 44, podem ser observados as contribuições de acordo com o componente.

Figura 44 - Contribuição dos componentes químicos para a categoria de DCO do arroz na região BSF sergipano.



Fonte: autor (2024).

O cultivo de arroz em campos inundados cria condições anaeróbicas que favorecem a produção de metano, envolvendo a decomposição da matéria orgânica no solo durante este

processo. As práticas no manejo do arroz, assim como drenagem dos campos e o uso de fertilizantes podem influenciar diretamente as emissões de metano (Lima et al., 2021).

As contribuições para a categoria são baixas, sendo esta categoria a com menor valor de impacto analisado, estando o metano e o etano associado ao cultivo do arroz, assim como, a produção dos equipamentos utilizados na região.

Os impactos para a DCO diferem significativamente do que é encontrado na literatura, geralmente apresentando valores muito menores. Escobar et al., (2022) obtiveram  $2,27 \times 10^{-5}$  kg CFC-11 eq., com 98% de contribuição de  $N_2O$ . Esses valores estão relacionados à baixa mecanização das práticas agrícolas na região do vale do rio Senegal, bem como ao tamanho da área estudada, sendo 4,2 hectares no BSF e 4,8 hectares no vale do rio Senegal para o plantio convencional.

Na etapa de cultivo a maior contribuinte para a DCO, os resultados encontrados por Sàez (2021) para a Espanha demonstra que 84,45 de todo  $NO_2$  produzido é devido a etapa de cultivo, da produção de pesticidas (9,72%) e fertilizantes (3,97%). Para a categoria de DCO, o fator de caracterização utilizado por Blengini et al., (2009) não é em kg, mas em mg CFC-11 eq. O valor levantado foi de 0,10 mg CFC-11 eq., destacando-se o transporte com maior contribuição.

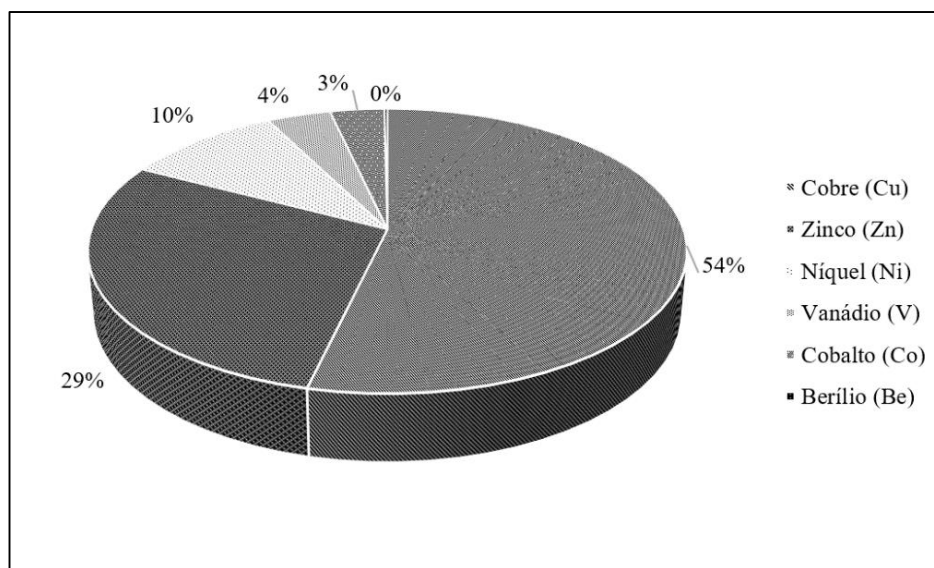
O resultado encontrado por Khoshnevisan et al., (2014) e Nabavi-Pelesaraei (2018) respectivamente, com a UF de 1 tonelada para o arroz iraniano foi de 0,0001 CFC-11 eq e 0,00017 CFC-11 eq, destacando os fertilizantes químicos com maior contribuição, como também a produção e consumo de diesel.

#### 8.1.6 Ecotoxicidade de Água Doce (EAA)

Abrange os impactos de substâncias tóxicas em ambientes aquáticos, terrestre e ecossistemas sedimentares, refere-se aos impactos de substâncias tóxicas na água doce, afetando os ecossistemas aquáticos (Guineé et al., 2002). O fator de caracterização para a ecotoxicidade de água doce é expresso em kg de 1,4-diclorobenzeno equivalente (kg 1,4-DB eq), para diferentes concentração e propriedades químicas das substâncias.

O resultado para esta categoria foi o terceiro maior levantado dentro das análises do cultivo de arroz. Destaca-se a quantificação das emissões para água doce do cobre com 54% de contribuição, Zn com 29%, Ni com 10%, V com 4%, Co com 3% e Be, com menos de 1%. Na Figura 45, podem ser observados as contribuições de acordo com o componente.

Figura 45 - Contribuição dos componentes químicos para a categoria de EAA do arroz na região BSF sergipano.



Fonte: autor (2024).

O Cobre é prejudicial quando presente em altas concentrações, com efeitos variáveis dependendo do cultivo em desenvolvimento. Embora não se acumule facilmente, sua presença é facilitada pela aplicação de fertilizantes minerais e pesticidas (Oorts, 2013). O Zn, por sua vez, apresenta toxicidade moderada, dependendo da quantidade acumulada, e torna-se tóxico em concentrações elevadas, resultantes da adubação, afetando negativamente os organismos aquáticos (Mertens; Smolders, 2013).

A combustão de carvões e óleos é a principal fonte de V na biosfera, possuindo menor toxicidade, mas com tendência de bioacumulação em sedimentos, elevando seu grau tóxico para organismos bentônicos (Madejon, 2013). Já o Co é essencial em pequenas quantidades devido sua capacidade de absorver metais pesados, atuando como oxidante na saúde do solo, mas quando existente em altas concentrações afeta a reprodução e desenvolvimento dos organismos aquáticos (Uren, 2013). Por fim, o Be é o que possui menor contribuição, porém é extremamente tóxico até em baixas concentrações, com ação carcinogênica e genotóxica, se ligando a sedimentos, também afetando os organismos bentônicos.

Todas as emissões de metais pesados quantificados possuem níveis diferentes de toxicidade e afetam de formas diferentes a biota aquática, estão associados a emissão para água doce superficial, na fabricação dos equipamentos utilizados para preparação do solo, colheita e transporte dos grãos colhidos, assim como, no uso dos fertilizantes e nas emissões por pesticidas.

Os impactos de EAA no vale do rio Senegal foram de 200 kg 1,4-DB eq., conforme os dados levantados por Escobar et al., (2022). Este valor se encontra abaixo do quantificado neste estudo, estando associado as diferenças entre as práticas agrícolas nas distintas regiões do mundo. No Irã, os maiores impactos se encontram associados ao uso de pesticidas e gás natural para 1 tonelada, totalizando 24,81 kg 1,4-DB (Nabavi-Pelesaraei, 2018).

Blengini et al., (2009) utilizaram um fator de caracterização para EAA em m<sup>3</sup>, quantificando de forma direta e indireta um total de 12,9 m<sup>3</sup> para o cultivo do arroz, considerando as etapas de transporte e desenvolvimento do grão.

Mahmood et al. (2023) encontraram, para a categoria de EAA na Tailândia, um valor de 1,1 kg 1,4-DB eq por tonelada de arroz. A maior contribuição para este valor é atribuída à aplicação de pesticidas e herbicidas, bem como ao consumo de combustíveis fósseis, especialmente o diesel utilizado nas operações de campo.

Nos estudos realizados de forma comparativa entre plantio convencional e orgânico, é possível notar que essas etapas consomem mais combustíveis sendo os principais responsáveis pelos valores da categoria de EAA.

#### 8.1.7 Ecotoxicidade Terrestre (ET)

Refere-se aos impactos tóxicos causados por substâncias químicas nos ecossistemas terrestres, com emissões tóxicas de substâncias para o ar, água e solo. (Guineé et al., 2002). O fator de caracterização para a ecotoxicidade terrestre é expressa em kg de 1,4-diclorobenzeno equivalente (kg 1,4-DB eq), para diferentes concentrações e propriedades químicas das substâncias.

No resultado obtido para a categoria destaca-se a quantificação das emissões para o solo de Zn com 99% de contribuição, seguido do Ni, Cromo VI, Hg e Cipermetrina (C<sub>22</sub>H<sub>19</sub>Cl<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>) que juntos somam apenas 1% no resultado total.

Todos os componentes químicos listados anteriormente possuem toxicidade para organismos terrestres, a exemplo do Zn, com maior contribuição e que em excesso no solo pode ser tóxico ao ecossistema terrestre e quando bioacumulado pode contaminar plantas, sendo consumido por animais e humanos.

Os outros listados possuem menor contribuição, mas ainda assim impactam o ambiente terrestre. O Ni possui maior toxicidade quando existe elevadas concentrações, chegando a afetar as comunidades microbianas do solo e importantes processos, como o de decomposição da matéria orgânica (Kabata-Pendias, 2011). O Cromo VI é altamente tóxico com potencial

cancerígeno, afetando todos o ecossistema ao persistir por longos períodos de tempo (Maronezi et al., 2019). O Hg também possui alta toxicidade, podendo bioacumular-se em organismos, representando riscos a cadeia alimentar (Kabata-Pendias, 2011).

O Cobre e o Zn são microelementos essenciais para as plantas, mas quando presentes em altas concentração contribuem com um alto nível de toxicidade, se tornando prejudicial para o solo e ao ecossistema terrestre (Fernández-Calvino et al., 2018). O Ni possui uma toxicidade variável a depender da exposição prolongada, quando bioacumulado afeta diretamente a saúde e reprodução.

Nos resultados levantados para esta categoria, o V, possui uma toxicidade menor, com tendência de bioacumulação em sedimentos, causando efeitos tóxicos em organismos bentônicos (Selim, 2015). Já o Co é essencial em pequenas quantidades, mas quando existente em altas concentrações afeta a reprodução e desenvolvimento dos organismos aquáticos, principalmente os que se encontram no topo da cadeia alimentar (Kabata-Pendias, 2011). A  $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$  é um inseticida altamente tóxico e o último componente listado nas contribuições da categoria, na qual a utilização desta substância está relacionada diretamente com o impacto ambiental, podendo afetar o desenvolvimento de espécies (Junior et al., 2018).

É importante compreender os impactos ocasionados por estes componentes na categoria de ecotoxicidade terrestre devido à alta toxicidade para os organismos do solo e seu potencial de acumulação na cadeia alimentar local, composta por diferentes indivíduos, se fazendo importante o monitoramento e o controle das emissões para garantir uma qualidade ambiental do solo e a saúde da atividade agrícola.

Nenhum estudo para a ACV do cultivo do arroz com UF de 1kg quantificaram a categoria de ET, portanto, as comparações realizadas foram feitas em outros tipos de UF e tipos de cultivos e produtos. Khoshnevisan et al., (2014), Nabavi-Pelesaraei (2018) e Amirahmadi et al., (2019) obtiveram para o Irã, o total de 3,40 kg 1,4-DB eq, 0,42 kg 1,4-DB eq e 4,35 kg 1,4-DB eq respectivamente, com maior contribuição do uso de fertilizantes nitrogenados, pesticidas, produção e consumo de diesel pelo maquinário agrícola.

## **8.2 AICV do beneficiamento do arroz**

Aqui estão apresentados os resultados dos impactos para a fase de beneficiamento do arroz, separadamente por categorias, de forma diferente do que foi apresentada para a fase de cultivo devido as diferenças de valores. As discussões foram feitas de acordo com os limites do sistema e UF. Estes valores foram calculados com base no inventário para diagnóstico do

beneficiamento. Aqui estão apresentados os valores comparativos de acordo com a categoria analisada, na Tabela 13.

Tabela 13 - Comparação dos valores entre as categorias para etapa de beneficiamento.

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Resultado Agroindústria</b>	<b>Unidade</b>
Potencial de acidificação	3.60840e-1	kg SO <sub>2</sub> eq
Potencial de eutrofização	1.08111e-1	kg PO <sub>4</sub> eq
Potencial aquecimento global (GWP)	6.56009e+1	kg CO <sub>2</sub> eq
Toxicidade Humana	3.28108e+1	kg 1,4-DB eq
Depleção da camada de ozônio	7.40564e-6	kg CFC-11 eq
Ecotoxicidade de água doce	2.60717e+1	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade Terrestre	1.90930e-1	kg 1,4-DB eq

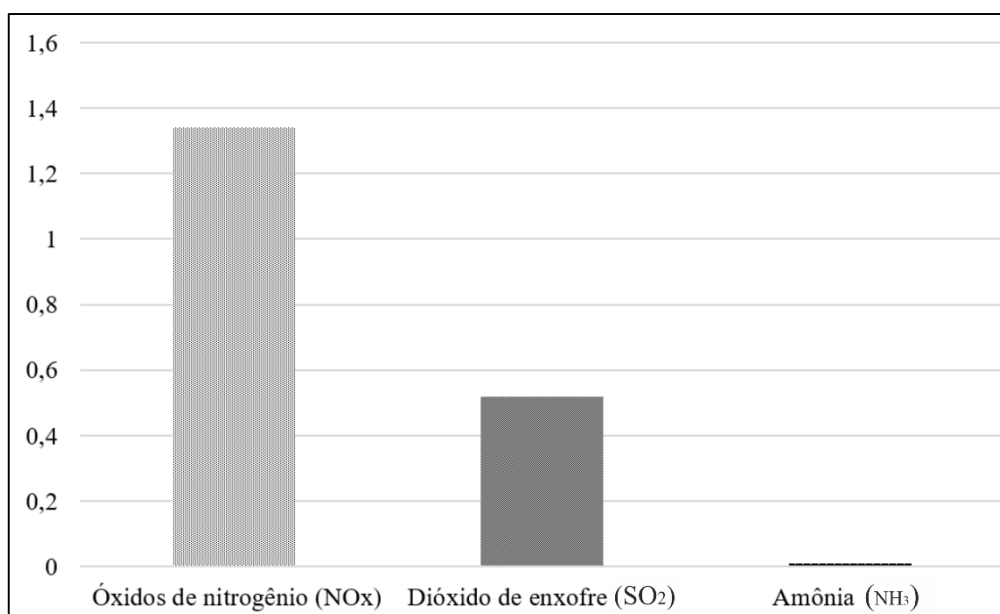
Fonte: autor (2024).

Devido ao número limitado de estudos baseados na UF de 1kg para o cultivo de arroz, dentro do sistema utilizado neste trabalho, a comparação dos resultados foi ampliada para outras UF, a exemplo de 1 ton e 1 ha, demonstrando assim qual categoria possui maior impacto dentro do sistema de cultivo, como também em outros tipos de sistema de produtos na indústria.

### 8.2.1 Potencial de Acidificação (PA)

O fator de caracterização para acidificação é expresso em quilograma de dióxido de enxofre equivalente (kg SO<sub>2</sub> eq). O resultado da categoria para o beneficiamento do arroz na Usina está de acordo com a UF, com maior contribuição é de emissões NO<sub>x</sub>, com 1,34 kg SO<sub>2</sub> eq, seguido de SO<sub>2</sub> com 0,52 kg SO<sub>2</sub> eq e a amônia 0,0106 kg SO<sub>2</sub> eq. É possível observar na Figura 46 a comparação entre os valores.

Figura 46 - Contribuição dos componentes químicos para a categoria de acidificação do beneficiamento de arroz na região BSF sergipano.



Fonte: autor (2024).

Assim como a etapa de campo, os valores estão associados ao consumo e queima do diesel na etapa de coleta dos grãos e de recebimento das embalagens para empacotamento, assim como do grão de arroz recebido para beneficiamento. Estas substâncias são caracterizadas como as principais emissões para a categoria analisada.

Os valores quantificados e comparados estão de acordo com a UF de 1kg para os estudos levantados, em diferentes regiões e para diferentes objetivos. Mohammadi et al., (2015) investigou melhorias utilizando a ACV e Análise Envoltória de Dados para produção de arroz em casca com diferentes culturas na primavera e verão, onde o PA total foi de 23,7kg SO<sub>2</sub> eq., justificada pelo alto consumo de diesel para irrigação do cultivo, corroborando com os resultados encontrados aqui.

No estudo realizado por Nunes et al., (2016) na região sul do Brasil na etapa de beneficiamento que inclui a etapa de parboilização, foi quantificado o valor de 0,047 kg SO<sub>2</sub> eq., onde as etapas com maior contribuição são da combustão do diesel pela colheitadeira e máquinas agrícolas utilizadas na preparação do solo e na fase do cultivo causada pelas emissões de NOx.

Blengini et al., (2009), em Vercelli na Itália, a unidade utilizada para os impactos de AP foi outra, quantificando os resultados com o fator de caracterização em mol H<sup>+</sup>, usado para indicar a quantidade de íon de hidrogênio fornecidos por uma determinada quantidade de substâncias, obtendo o valor de 0,2 kg mol H<sup>+</sup> para uma área de 50ha com UF de 1kg, sendo o

artigo mais antigo a aplicar a ACV para o arroz encontrado, não sendo possível comparar os valores devido a diferença dos fatores de caracterização.

No estudo de Aswin et al., (2023) para o sistema de beneficiamento de arroz na região oeste de Sumatra, na Indonésia quantificou 64,17 kg SO<sub>2</sub> eq para o PE na região estudada, com maior contribuição de NO<sub>x</sub> devido a lixiviação de NO<sub>3</sub> com 33,25 kg SO<sub>2</sub> eq, seguido de NH<sub>3</sub> com 29,74 kg SO<sub>2</sub> eq devido a volatilização da ureia devido a aplicação de fertilizantes a base de ureia.

Devido à escassez de trabalhos focados no beneficiamento de arroz, comparações de maior impacto foram feitas com outros produtos. Para o vinho produzido na região sul de Portugal, o PA encontrado foi de 11,5 kg SO<sub>2</sub> eq, destacando-se maior contribuição nas máquinas agrícolas utilizadas, grande parte associada as emissões de SO<sub>2</sub> e NO<sub>x</sub> para o ar (Silva, 2020).

No estudo de ACV para a produção de 1kg leite no Brasil, Maciel (2019) obteve o valor de 0,0015 kg SO<sub>2</sub> eq com maior contribuição na etapa de produção para de alimento para o animal. Para a soja brasileira, Brito et al., (2023) obtiveram 2577 kg SO<sub>2</sub> eq para 1 kg de soja modificada geneticamente, atribuída em grande parte a etapa de cultivo.

Oliveira (2020) levantou os dados de AICV para os produtos oriundos do umbu, a categoria de PE para o doce e a geleia para 1 kg do produto, sendo maior impacto associado ao processamento e uso da caldeira, sendo o açúcar orgânico utilizado o ponto mais crítico devido os fluxos de emissão do diesel na fase agrícola da cana-de-açúcar.

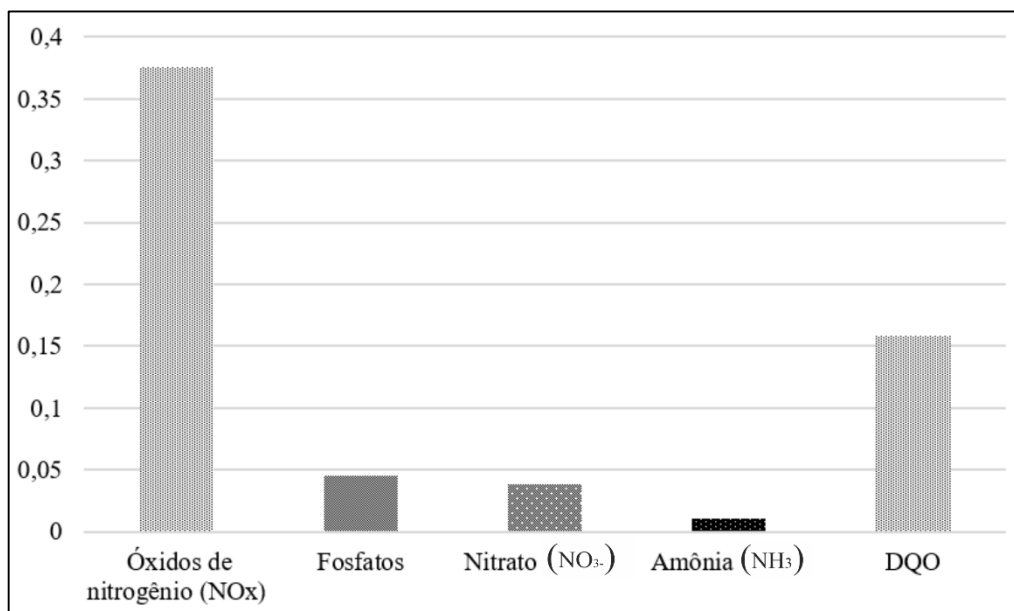
Na indústria da farinha de mandioca, a queima de diesel entre as operações agrícolas e o transporte dos insumos utilizados foram os principais contribuintes na emissão de SO<sub>2</sub> eq, para o ar, além das emissões e NH<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub> e NO<sub>x</sub> pelo uso dos fertilizantes nitrogenados, assim como as emissões de correntes da produção industrial da farinha amarela, totalizando 4,99 kg SO<sub>2</sub> eq (Corrêa Filho et al., 2017).

### 8.2.2 Potencial de Eutrofização (PE)

O fator de caracterização para eutrofização terrestre é expresso em kg de fosfato equivalente (kg PO<sub>4</sub> eq). Os resultados desta etapa da produção foi de 1.08111e-1 PO<sub>4</sub> eq. Dentro desta categoria, as emissões para o ar foram representadas pelos gases NO<sub>x</sub>, com 0,37 kg PO<sub>4</sub> eq e maior contribuição, seguido pela Demanda Química de Oxigênio (DQO) com 0,15 kg PO<sub>4</sub> eq, o fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) com 0,044 kg PO<sub>4</sub> eq, o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> com 0,03 kg PO<sub>4</sub> eq e a amônia

com 0,0106 kg PO<sub>4</sub> eq, se aproximando aos resultados encontrados na etapa de cultivo. Na Figura 47 é possível observar as contribuições.

Figura 47 - Contribuição dos componentes químicos para a categoria de eutrofização do beneficiamento de arroz na região BSF sergipano.



Fonte: autor (2024).

A quantificação desta categoria tem influência direta da fase de cultivo, na qual as emissões são provenientes da queima de combustível durante o ciclo de grão do arroz, acrescido a etapa de embalagem semelhante a categoria de acidificação, mas com unidades de medida equivalentes diferente. Em relação as emissões para a água, estão ligadas com a produção e consumo do combustível utilizado, bem como os químicos agregados no cultivo do grão.

O PE encontrado por Nunes et al., (2017) foi de 0,0207 kg PO<sub>4</sub> eq. nas etapas de transporte, colheita e desenvolvimento de fertilizantes e agroquímicos. Para Blengini et al., (2009), em um estudo de ACV para o ciclo do arroz na Itália, o fator de caracterização para foi diferente, obtendo um resultado de g O<sub>2</sub> eq. com maior contribuição entre as categorias levantadas pelo autor, com 328,3 kg O<sub>2</sub> eq., justificado pelo autor pela quantidade de água utilizada para irrigação, assim como, no uso indireto para produção de materiais e embalagens.

Na pesquisa de Aswin et al., (2023) para o sistema de beneficiamento de arroz na região oeste de Sumatra, na Indonésia quantificou 42,33 kg PO<sub>4</sub> eq para o PA na região estudada, com maior contribuição de NO<sub>x</sub> devido a lixiviação de NO<sub>3</sub> com 16,63 kg PO<sub>4</sub> eq, seguido de NH<sub>3</sub> com 5,54 kg PO<sub>4</sub> eq, atribuídos as emissões de fertilizantes sintéticos.

Devido à escassez de estudos específicos sobre o beneficiamento de arroz, algumas comparações de maior impacto foram realizadas com outros produtos. O vinho é um dos produtos com elevado consumo de água, no trabalho realizado por Silva (2020) na região sul de Portugal, o valor total foi de 0,000582 kg PO<sub>4</sub> eq para uma UF de 0,75 L da bebida, com maiores contribuições associadas a etapa de engarrafamento e embalagem.

Para o leite produzido no Estado de Minas Gerais, foi quantificado o valor de 0,0010 kg PO<sub>4</sub> eq para 1kg de leite, com maior contribuição na etapa fermentação e manejo dos resíduos gerados (Maciel, 2019). Na cadeia produtiva de 1kg de soja geneticamente na região do Pará, no Brasil, o valor da categoria de PE foi de 18,97 kg PO<sub>4</sub> eq atribuído aos princípios ativos presentes nos pesticidas utilizados (Brito et al., 2023).

Na produção do doce e geleia de umbu, Oliveira (2020) destaca-se o consumo o consumo elétrico da caldeira para o doce e de diesel para a geleia, sendo as maiores contribuições para a categoria.

### 9.3 Potencial de Aquecimento Global (GWP)

As mudanças climáticas estão intimamente ligadas ao aumento da temperatura da superfície terrestre, principalmente devido às emissões de GEE na atmosfera (Presumido, 2017). De acordo com o IPCC (2007), os GEE se distinguem pela sua influência no aquecimento do sistema climático global, devido as suas diferentes propriedades radiativas e seu tempo de permanência na atmosfera. A medida comum de impacto ambiental é feita a partir do fator de caracterização para o potencial de aquecimento global, expressado em kg dióxido de carbono equivalente (kg CO<sub>2</sub> eq), tendo como principais gases N<sub>2</sub>O, o CH<sub>4</sub> e o CO<sub>2</sub>.

Assim como na etapa de cultivo, esta é a categoria com maior de impacto. As emissões são exclusivamente para a atmosfera, compostas pelo CO<sub>2</sub>, com 60,87 kg CO<sub>2</sub> eq., se diferenciando do campo devido a emissão de diferentes tipos de metano, sendo o metano fóssil com 0,08 kg CO<sub>2</sub> eq, com maior contribuição e o metano biogênico/ou biológico, com 0,035 kg CO<sub>2</sub> eq.

A partir da análise dos resultados gerados dentro do OpenLCA, o transporte foi o principal emissor de gases GEE para a atmosfera, destacando-se aqui a emissão do metano biogênico/ou biológico oriundo do arroz produzido com os valores coletados *in loco*. Segundo Lima et al., (2021), esta emissão é característica do arroz, podendo sofrer alterações para mais ou menos a depender do período de submersão do grão. O metano fóssil está associado a fase de produção de equipamentos utilizados na etapa de cultivo, somado com a etapa de beneficiamento.

Os valores comparativos a seguir estão de acordo com a unidade funcional do estudo, de 1kg de arroz. A categoria de maior impacto foi a de aquecimento global, padrão seguido por diversos estudos voltados a ACV do arroz, destacando-se Mohammadi et al., (2015) com um total de 3174 kg CO<sub>2</sub> eq., com maior contribuição do CH<sub>4</sub> emitido dos arrozais, representando mais da metade das emissões de GEE. A categoria de GWP foi quantificado por Nunes et al., (2017) para a etapa de parboilização do arroz branco, não aplicado a este estudo, os autores levantaram para esta categoria o valor de 27,34 kg CO<sub>2</sub> eq com uma UF de 1 kg.

Ainda na região Sul do país, Firmino et al., (2024) realizou um estudo de ACV para o beneficiamento do arroz com a UF para um fardo de arroz, obteve 831,53 kg CO<sub>2</sub> eq, com contribuições associadas a atividades que liberam gases de GEE.

Para o impacto GWP, o fator de caracterização utilizado por Blengini et al., (2009) foi o mesmo utilizado neste estudo e em outros citados anteriormente, diferentemente do padrão demonstrado, esta categoria demonstrou pouco impacto para o cultivo de arroz na região estudada com contribuição de 2,76 kg CO<sub>2</sub> eq, a contribuição é devida as emissões dos fertilizantes e do transporte em Venicce, na Itália.

Para o Irã, Nabavi-Pelesarai et al., (2019) quantificaram 424,44 kg CO<sub>2</sub> eq com UF em tonelada de arroz beneficiado destacando as emissões na etapa de transporte e consumo de diesel. Aswin et al., (2023) para o mesmo sistema do arroz na região oeste de Sumatra, na Indonésia quantificou 1,94 kg CO<sub>2</sub> eq para o PA na região estudada, com maior contribuição na emissão de CO<sub>2</sub>, seguida pelo CH<sub>4</sub> e por fim, N<sub>2</sub>O associada a etapa de combustão de diesel.

A quantificação desta categoria para outros produtos, a exemplo do vinho na região sul de Portugal demonstrou que as maiores contribuições das emissões estão associadas ao estágio de engarrafamento e embalagem, assim como na produção e consumo de diesel utilizado no transporte do produto (Silva, 2020). No kg da soja paraense geneticamente modificada o valor da categoria de GWP foi de 0,48 kg CO<sub>2</sub> eq. atribuído a fase de campo e seus fluxos, com emissões de CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O na atmosfera (Brito et al., 2023).

Na produção do doce e da geleia de umbu, a categoria de GWP possui maior valor para ambos sistemas, resultado as emissões na produção do açúcar utilizado e do diesel consumo pelo maquinário agrícola (Oliveira, 2020). O total do GWP emitido na etapa industrial da farinha amarela foi de 7.022,7 kg CO<sub>2</sub> eq devido ao biogás gerado mediante a queima de CH<sub>4</sub> na caldeira (Corrêa Filho et al., 2017).

### 8.2.3 Toxicidade Humana (TH)

Essa categoria aborda os impactos das substâncias tóxicas no ambiente, especialmente para a saúde humana (Guineé et al., 2002). O fator de caracterização para eutrofização terrestre é expresso em kg 1,4-diclorobenzeno equivalente (kg 1,4-DB eq).

O resultado obtido se caracteriza como a segunda maior dentre as analisadas para o beneficiamento, com semelhança para etapa de campo. Destaca-se as emissões para o ar de gases NOx com maior contribuição 267,64 kg 1,4-DB eq, justificada pelo alto consumo de combustível em todo o sistema do arroz. Os valores dos outros químicos apresentados pelo software, porém em menor contribuição estão apresentados na tabela 14 abaixo.

Tabela 16 - Componentes químicos e suas contribuições

<b>Componente Químico</b>	<b>Resultado do impacto</b>
Níquel (Ni)	0,0347 kg 1,4-DB eq
Cádmio (Cd)	0,005 kg 1,4-DB eq
Cromo VI	0,0025 kg 1,4-DB eq
Benzeno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	1,3175 kg 1,4-DB eq
Fluoreto de hidrogênio (HF)	0,5071 kg 1,4-DB eq

Fonte: autor (2024).

Estes estão associados a efeitos carcinogênicos a curto, médio e longo prazo, presente tanto na extração e produção dos equipamentos utilizados na agricultura mundial, aqui com valores para a região do BSF, assim como, na produção e queima de combustível fóssil e na limpeza dos campos de arroz, além dos impactos a saúde do agricultor quando não utilizados os EPI's.

Para a água, assim como na etapa de cultivo, as emissões são baixas, destacando-se o incremento do Tálho (Tl) com 0,0066 kg 1,4-DB eq, caracterizando-se com metal pesado que mesmo em pequena concentração pode causar problemas relacionadas ao desenvolvimento, reprodução e mortalidade de animais aquáticos, afetando diretamente a qualidade da água. Os outros componentes químicos já foram citados na etapa de campo, com contribuições pequenas, sendo estes, o V com 0,4839 kg 1,4-DB eq, Mo com 0,079 kg 1,4-DB eq, Se com 0,0627 kg 1,4-DB eq e o Be com 0,0231 kg 1,4-DB eq.

Todos citados anteriormente são prejudiciais à saúde humana, ocasionando diferentes sintomas que vão de irritação na pele e olhos, até danos no sistema nervoso. Devido a quantificação dos grãos está inserido dentro do beneficiamento, estes elementos estão relacionados com as práticas agrícolas na região.

No processamento do arroz, a categoria de TH destaca-se como segunda de maior valor, no estudo de Firmino et al., (2024) no Sul do Brasil, o valor para esta categoria foi de

355,11 kg 1-4 DBC eq, demonstrando proximidade com os resultados obtidos neste estudo apesar da diferença de UF.

Nabavi-Pelesarai et al., (2019) obteve 10,15 kg 1-4 DBC eq, valor bem menor do quantificado aqui, porém para uma UF de 1 tonelada que influencia diretamente nos valores da TH, assim como, a diferença de região e o clima local do Irã.

Para outros sistemas de produtos agrícolas as contribuições não possuem grandes diferenças se comparado ao arroz. Em Gana, os autores Ntiamoah; Afrane (2008) encontraram valores para TH de 51 kg 1-4 DBC eq. para 1 kg de cacau, devido ao uso de fertilizantes e pesticidas na etapa de campo. O Estado do Pará é um grande produtor de soja, na quantificação para 1kg foi encontrado o total de 0,109 kg 1-4 DBC eq, atribuído aos pesticidas utilizados no sistema de agricultura (Brito et al., 2023).

A categoria de TH na produção de cerveja artesanal na cidade de Vasco foi de 3,740 kg 1-4 DBC eq para uma UF de 3,97 L envasados, com maior contribuição de emissões de substâncias químicas utilizadas na produção das embalagens, assim como no transporte (Arricibita, 2022).

#### 8.2.4 Depleção da Camada de Ozônio (DCO)

Refere-se ao afinamento da camada de ozônio como resultado de emissões antrópicas, prejudiciais à saúde humana e ecossistema, aumentando a exposição terrestre aos raios ultravioletas prejudiciais. O fator de caracterização para depleção da camada de ozônio é expresso em kg clorofluorcarbono (kg CFC-11 eq), para diferentes gases com potencial de impacto.

O resultado desta etapa do beneficiamento totalizou 7.40564e-6 kg CFC-11 eq. O menor entre as categorias analisadas, quantificando exclusivamente as emissões para a atmosfera, compostas pelo CH<sub>4</sub>, com 5,15E-06 kg CFC-11 eq, e o C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, com 5,24E-07 CFC-11 eq. Os valores encontrados aqui para o beneficiamento estão diretamente ligados com a etapa de cultivo, demonstrando pouca contribuição, associado também com a produção do maquinário e combustível utilizado na região.

Os resultados obtidos por Nunes et al., (2017) para o beneficiamento do arroz branco parboilizado foi de 8,47e-7 kg CFC-11 eq., com contribuição direta do consumo de diesel e da submersão do arroz em água. O valor encontrado pelos autores se assemelham ao encontrado neste estudo, porém sem a etapa de parboilização.

Para outros sistemas de produtos agrícolas as contribuições para a DCO possuem semelhanças aos levantados neste estudo, a exemplo do cacau produzido em Gana que totalizou

5,7284e-9 kg CFC-11 eq, com contribuição do consumo combustíveis fósseis nas caldeiras utilizadas (Ntiamoah; Afrane, 2008).

No estudo de ACV para a produção de 1kg leite no Brasil, a DCO totalizou 1,426e-8 kg CFC-11 eq com maior contribuição na produção do animal e no consumo de diesel na etapa de transporte (Maciel, 2019). O maior valor encontrado por Brito et al., (2023) no estudo de ACV para a soja modificada geneticamente no Estado do Pará foi para a categoria de DCO, com 2.82500E+8, na qual destaca-se as emissões na fase agrícola na etapa de transporte, envolvendo rodoviário, ferroviário e aquático, com grande consumo de diesel.

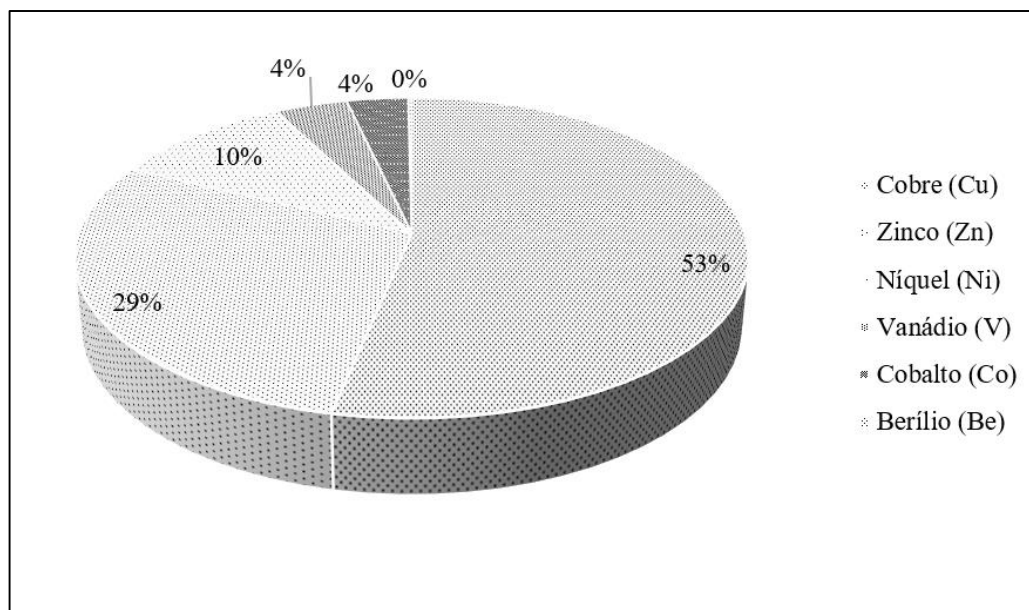
No processamento da castanha a maior contribuição para a categoria de DCO foi do consumo da eletricidade com 85% de todo impacto, seguido da emissão de gás propano ( $C_3H_8$ ) de origem fóssil, com uso comum na indústria e do consumo de óleo diesel. Já para o tomate, destaca-se a produção e consumo de diesel (Rosa, 2014).

#### 8.2.5 Ecotoxicidade de Água Doce (EAA)

Abrange os impactos de substâncias tóxicas em ambientes aquáticos, terrestre e ecossistemas sedimentares, refere-se aos impactos de substâncias tóxicas na água doce, afetando os ecossistemas aquáticos (Guineé et al., 2002). O fator de caracterização para a ecotoxicidade de água doce é expresso em kg de 1,4-diclorobenzeno equivalente (kg 1,4-DB eq), para diferentes concentração e propriedades químicas das substâncias.

Esta categoria é a terceira com maior valor observado. Destacando-se a quantificação das emissões para água doce do Cu com 0,0081 kg 1,4-DB eq, do Zn com 0,0044 kg 1,4-DB eq, do Ni com 0,00154 kg 1,4-DB eq, do V com 0,00061 kg 1,4-DB eq, do Co com 0,00052 kg 1,4-DB eq e Be com 2,96E-05. Na Figura 48, podem ser observados as contribuições de acordo com o componente.

Figura 48 - Contribuição dos componentes químicos para a categoria de EAA do beneficiamento de arroz na região BSF sergipano.



Fonte: autor (2024).

O cobre é prejudicial quando existente em altas concentrações, variando a depender do cultivo em desenvolvimento, não se acumulando facilmente, mas facilitado pela aplicação de fertilizantes minerais e pesticida (Oorts, 2013). O Zn possui toxicidade moderada dependendo da quantidade acumulada, tornando-se tóxico em concentrações elevadas, proveniente da adubação afetando os organismos aquáticos (Merts; Smolders, 2013). E o Níquel possui uma toxicidade variável a depender da exposição prolongada, quando bioacumulado afeta diretamente a saúde com uma variedade de efeitos colaterais na saúde humana, a exemplo de alergias e em casos mais graves, câncer nasal (Genchi et al., 2020).

A combustão de carvão e óleos é a principal fonte de V na biosfera embora presente menor toxicidade, tende-se a bioacumular em sedimentos, aumentando sua toxicidade para organismos bentônicos (Madejon, 2013). Por outro lado, o Co é essencial em pequenas quantidades devido à sua capacidade de absorver metais pesados, atuando como oxidante na saúde do solo, no entanto, em altas concentrações, afeta a reprodução e o desenvolvimento dos organismos aquáticos (Uren, 2013). Por fim, o Be é o que possui menor contribuição, porém é extremamente tóxico até em baixas concentrações, com ação carcinogênica e genotóxica. Afetando severamente o desempenho dos agrossistemas (Shah et al., 2016).

Todos as emissões de metais pesados quantificados possuem níveis diferentes de toxicidade e afetam de formas diferentes a biota aquática, estão associados a emissão para água doce superficial, na fabricação dos equipamentos utilizados para preparação do solo, colheita e

transporte dos grãos colhidos, assim como, no uso dos fertilizantes e nas emissões por pesticidas.

Nos resultados obtidos por Firmino et al., (2024) no beneficiamento de arroz na região sul com UF de 1 tonelada, foi obtido o valor de 360,5 kg 1,4-DB, valor aproximado ao encontrado nos resultados deste estudo, destacando-se o detalhamento do ICV do estudo e as entradas e saídas utilizadas.

Importante destacar também que a região onde foi realizada o cultivo de arroz e o beneficiamento no BSF possui água em abundância que influencia diretamente nos resultados obtidos para a região.

Em outros sistemas de produtos agrícolas, as contribuições são semelhantes ao arroz. Na etapa de beneficiamento de 1kg de cacau em Gana, os valores encontrados por Ntiamoah; Afrane (2008) para EAA foi de 584 kg PO<sub>4</sub> eq., com maior contribuição da emissão de fosfatos provenientes da produção de fertilizantes fosfatados. Na produção de cerveja artesanal, Arricibita (2022) obteve o total de 2,368 kg 1,4-DB para uma UF de 3,96 L de cerveja envasada, destacando maior impacto na ecotoxicidade de água marinha, não contabilizada neste estudo.

#### 8.2.6 Ecotoxicidade Terrestre (ET)

Refere-se aos impactos tóxicos causados por substâncias químicas nos ecossistemas terrestres, com emissões tóxicas de substâncias para o ar, água e solo. (Guineé et al., 2002). O fator de caracterização para a ecotoxicidade terrestre é expressa em kg de 1,4-diclorobenzeno equivalente (kg 1,4-DB eq), para diferentes concentrações e propriedades químicas das substâncias.

No resultado obtido para a categoria destaca-se a quantificação das emissões para o solo de Zn com 99% de contribuição, seguido do Ni, Cromo VI, do Hg e (C<sub>22</sub>H<sub>19</sub>Cl<sub>2</sub>NO<sub>3</sub>) que juntos somam apenas 1% no resultado total.

Todos os componentes químicos listados anteriormente possuem toxicidade para organismos terrestres, a exemplo do Zn e do Cu, que são microelementos essenciais para as plantas, mas quando presente em altas concentrações se tornam prejudiciais ao solo, podendo se tóxico ao ecossistema terrestre (Fernández-Calvino et al., 2018).

Os outros listados possuem menor contribuição, mas ainda assim impactam o ambiente terrestre. O Ni possui maior toxicidade quando existe elevadas concentrações, chegando a afetar as comunidades microbianas do solo e importantes processos, possuindo alta toxicidade para saúde humana (Genchi et al., 2020). O cromo VI é altamente tóxico e carcinogênico, possui na

maioria das vezes antrópica (Maronezi et al., 2019). O Hg também possui alta toxicidade, podendo bioacumular-se, sendo difícil a estimativa devido a poluição generalizada causada pelo componente (Kabata-Pendias, 2011).

A utilização da ( $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$ ) é altamente tóxica, sendo este o último componente listado nas contribuições da categoria, está diretamente relacionada ao impacto ambiental, podendo afetar o desenvolvimento de espécies (Junior et al., 2018).

É importante compreender os impactos ocasionados por estes componentes na categoria de ecotoxicidade terrestre devido à alta toxicidade para os organismos do solo e seu potencial de acumulação na cadeia alimentar local, composta por diferentes indivíduos, se fazendo importante o monitoramento e o controle das emissões para garantir uma qualidade ambiental do solo e a saúde da atividade agrícola.

Nos resultados obtidos por Nunes et al., (2017) no beneficiamento de arroz na região sul, para o arroz branco parboilizado foi obtido o valor de 0,1965 kg 1,4-DB eq, valor bem abaixo do quantificado neste estudo na qual não quantifica esta etapa do processo, associado a produção e uso de fertilizantes sintéticos.

Para o sistema de beneficiamento do Cacau em Gana, a contribuição para a ET foi de  $7,1222e-3$  kg 1,4-DB eq, associado aos pesticidas utilizados na fase de campo, assim como, na emissão de metais pesados para o solo (Ntiamoah; Afrane, 2008).

Para a categoria de ET, os autores Brito et al., (2023) no estudo da soja no Estado do Pará encontraram o valor de  $1.32600E-2$ , destacando-se as emissões da etapa de transporte no consumo e produção de diesel. Para a cerveja artesanal produzida no país Vasco, Arricibita (2022) quantificou o total de 0,010 kg 1,4-DB eq destacando maior contribuição na etapa de envasamento da bebida.

### 8.3 Análise de incerteza de Monte Carlo

Um estudo de ACV segue todas as etapas descritas no percurso metodológico desta tese, com adição da análise de incerteza a partir da Matriz de Pedigree, preenchida de acordo com a qualidade dos dados primários coletados e secundários, para posterior modelagem da análise de incerteza de Monte Carlo, que objetiva produzir um desvio aleatório analisando a distribuição específica dos parâmetros, realizado dentro do software OpenLCA v.2.1, considerando uma confiança de 95% e 5000 interações para cada categoria selecionada, associada ao método CML *baseline*.

Michiels; Geeraerd (2020) concluíram que esta amostragem é a mais comum em estudos de ACV em diferentes setores. Existem poucos estudos com informação de aplicação deste método no contexto do arroz, não se caracterizando como etapa obrigatório da ACV, mas que garante robustez na análise dos resultados.

O valor aqui adotado foi aproximado a trabalhos realizados para o cultivo e processamento do arroz, com considerações de incerteza tratada através da simulação de Monte Carlo (Hung et al., 2020; Xu et al., 2022; Giuliana et al.; 2022; Mahmood et al., 2023), como também a outros setores, a exemplo da construção civil (Monteiro, 2021). Os valores obtidos possuem notação comum na engenharia e indicam a potência de 10 correspondente, a exemplo, 2E+3 que corresponde ao valor 2000 (Monteiro, 2021).

Estão apresentados na Tabela 15 e Figura 49 a média e o desvio padrão a comparação dos resultados da simulação para cada uma das categorias de impactos do método CML adotado para o cultivo do grão.

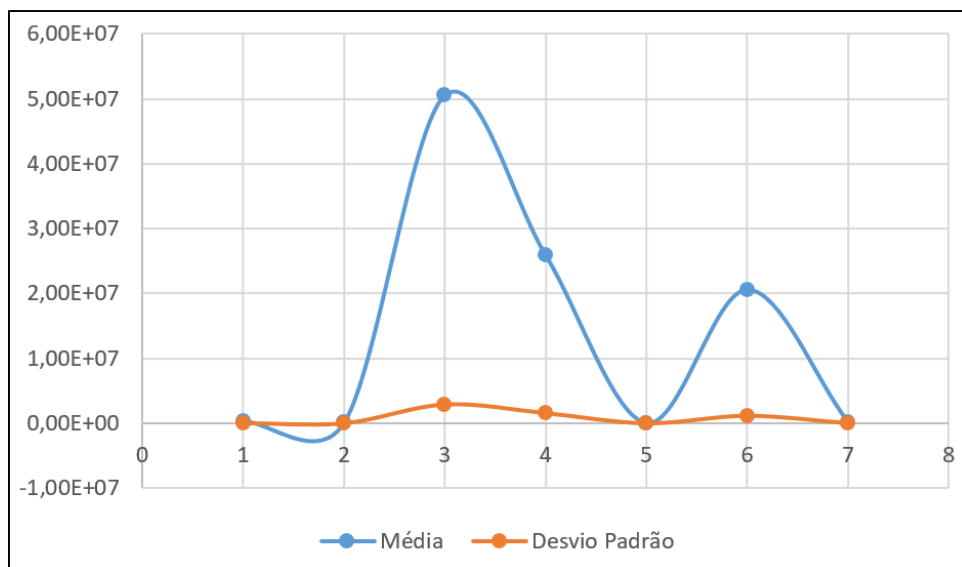
Tabela 15. Resultado da análise de incerteza da fase de campo do cultivo do arroz na região do BSF sergipano.

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Unidade</b>
1- Potencial de acidificação	2.746E2	26.399	kg SO <sub>2</sub> eq
2- Potencial de eutrofização	80.610	7.439	kg PO <sub>4</sub> eq
3- Potencial aquecimento global (GWP)	5.056E4	2.885E3	kg CO <sub>2</sub> eq
4- Toxicidade Humana	2.590E4	1.551E3	kg 1,4-DB eq
5- Depleção da camada de ozônio	5.775E-3	2.367E-4	kg CFC-11 eq
6- Ecotoxicidade de água doce	2.061E4	1.144E3	kg 1,4-DB eq
7- Ecotoxicidade Terrestre	1.491E2	15.838	kg 1,4-DB eq

Fonte: autor (2024).

É possível observar que os resultados da média e do desvio padrão para a etapa de cultivo são aproximados, demonstrando que os resultados são consistentes, garantindo a confiabilidade dos resultados levantados na etapa de AICV, se concentrando em torno do valor médio. Esta caracterização se dá ao quantitativo de dados primários coletados em campo, garantindo a qualidade de dados a nível local da realização do estudo.

Figura 49 - Resultado da análise de incerteza da fase de campo do cultivo do arroz na região BSF sergipano.



Fonte: autor (2024).

Ao analisar o comportamento das categorias acima, é possível visualizar que o potencial de aquecimento global e mudanças climáticas (3) exibem maior discrepância entre média e desvio padrão. Esta tendência é seguida pela toxicidade humana (4), cuja razão se justifica pela aproximação das medições, calculadas com base nas emissões emitidas pelos equipamentos empregados ao longo do desenvolvimento do cultivo. A mesma diferença é observada na categoria de ecotoxicidade de água doce (6), embora em escala menor.

Todas as categorias citadas possuem notas de Pedigree 2 e 3 em sua caracterização, indicando um nível que vai de moderado a alto na incerteza dos dados utilizados. Os resultados obtidos se assemelham aos encontrados por Mahmood et al., (2023) para as mesmas categorias citadas anteriormente no cultivo convencional do arroz, estando a maior diferença para o potencial de aquecimento global e ecotoxicidade de água doce, destacando-se também a ecotoxicidade terrestre que não possuiu diferença notável para o arroz do BSF sergipano.

Para o cultivo da cana-de-açúcar na Austrália, foi observado maior variação no potencial de aquecimento global, no consumo de energia não renovável e nos impactos da ecotoxicidade terrestre e aquático todos com medições a partir de dados secundários (Renouf et al., 2010).

Os valores da média e desvio padrão para a etapa de beneficiamento estão apresentados na Tabela 13. A comparação dos resultados para as categorias de impacto do método CML analisada na etapa da agroindústria estão apresentadas na Figura 50.

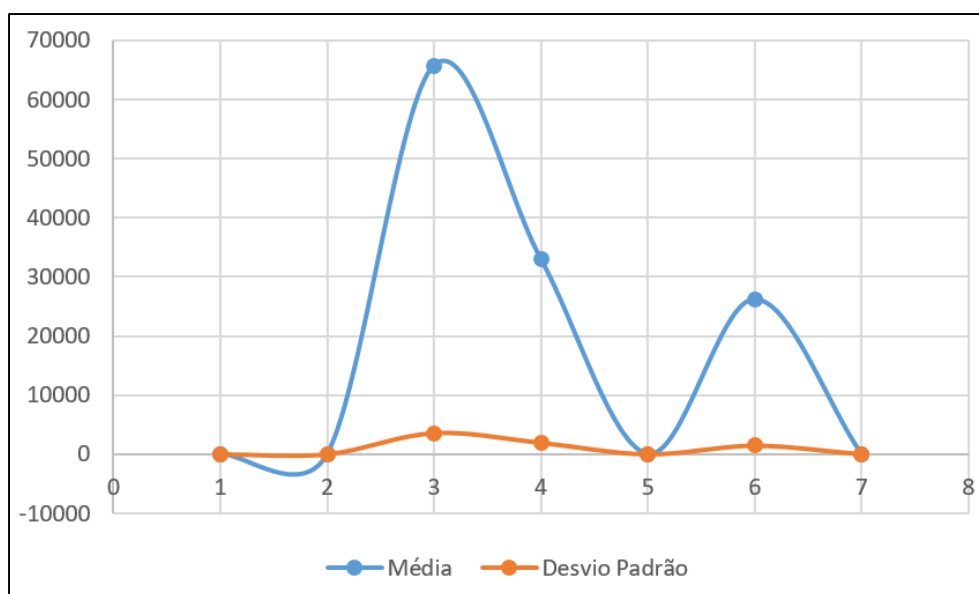
Tabela 16 - Resultado da análise de incerteza da fase de beneficiamento do arroz na região BSF sergipano.

<b>Categoria de impacto</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>Unidade</b>
1- Potencial de acidificação	0.363	0.034	kg SO <sub>2</sub> eq
2- Potencial de eutrofização	0.109	9.526E-3	kg PO <sub>4</sub> eq
3- Potencial aquecimento global (GWP)	66.265	3.579	kg CO <sub>2</sub> eq
4- Toxicidade Humana	33.090	1.943	kg 1,4-DB eq
5- Depleção da camada de ozônio	7.443E-6	2.862E-7	kg CFC-11 eq
6- Ecotoxicidade de água doce	26.238	1.439	kg 1,4-DB eq
7- Ecotoxicidade Terrestre	0.194	0.020	kg 1,4-DB eq

Fonte: autor (2024).

Assim como na fase de cultivo, os resultados da média e do desvio padrão mostram similaridade, reforçando a relevância do uso de dados primários no estudo devido à sua consistência. Isso eleva o nível de confiabilidade dos resultados obtidos na etapa da ACV, uma vez que os valores médios são próximos ao desvio padrão. Esses achados destacam a importância da coleta de dados na fase de inventário para estudos de ACV.

Figura 50 - Resultado da análise de incerteza da fase da agroindústria do cultivo do arroz na região BSF sergipano.



Fonte: autor (2024).

Seguindo a mesma tendência para o campo, na análise do comportamento das categorias para a agroindústria é possível visualizar que o potencial de aquecimento global e mudanças climáticas (3) destacam-se quando relacionados entre média e desvio padrão. Seguida pela

toxicidade humana (4), podendo atribuir estas diferenças as medições aproximadas, calculadas com base nas emissões quantificadas para a produção dos grãos de arroz com casca, assim como os equipamentos utilizados na fase de beneficiamento, destacando o transporte do campo, das embalagens e distribuição. Outra similaridade observada entre as etapas é na categoria de ecotoxicidade de água doce (6).

Nesta etapa, grande parte das entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) quantificadas nas categorias analisadas possuem notas de Pedigree 1 e 2 em sua caracterização, possuindo valores maiores comparado ao cultivo do grão, porém aparece notas 3 e 4 para a entrada específica do *Eucalyptus* na geração de energia da caldeira e 3 para águas residuais, podendo ter influência direta nos valores do potencial de acidificação (1) com as emissões calculadas de forma aproximada.

Não foi localizado estudos voltados para a agroindústria do arroz com valores para a análise de Monte Carlo. Nas análises realizadas por Monteiro (2021) no setor de construção civil de forma comparativa entre o método CML e ReCiPe, as maiores incertezas estão nas categorias toxicidade humana cancerígena e não cancerígena, não quantificada para o arroz, possuindo diferenças também para o potencial de aquecimento global.

No estudo de Bartazs; Komnitsas (2017) para produção de Pistache na Grécia, destaca-se os resultados do método para o CML *baseline*, com maior variação no potencial de aquecimento global e potencial de eutrofização.

A incerteza de um estudo é totalmente influenciada pelo uso de dados secundários e estimados, possuindo melhores resultados aqueles que em sua maioria utiliza dados primários, caracterizados pela coleta em campo (Monteiro, 2021).

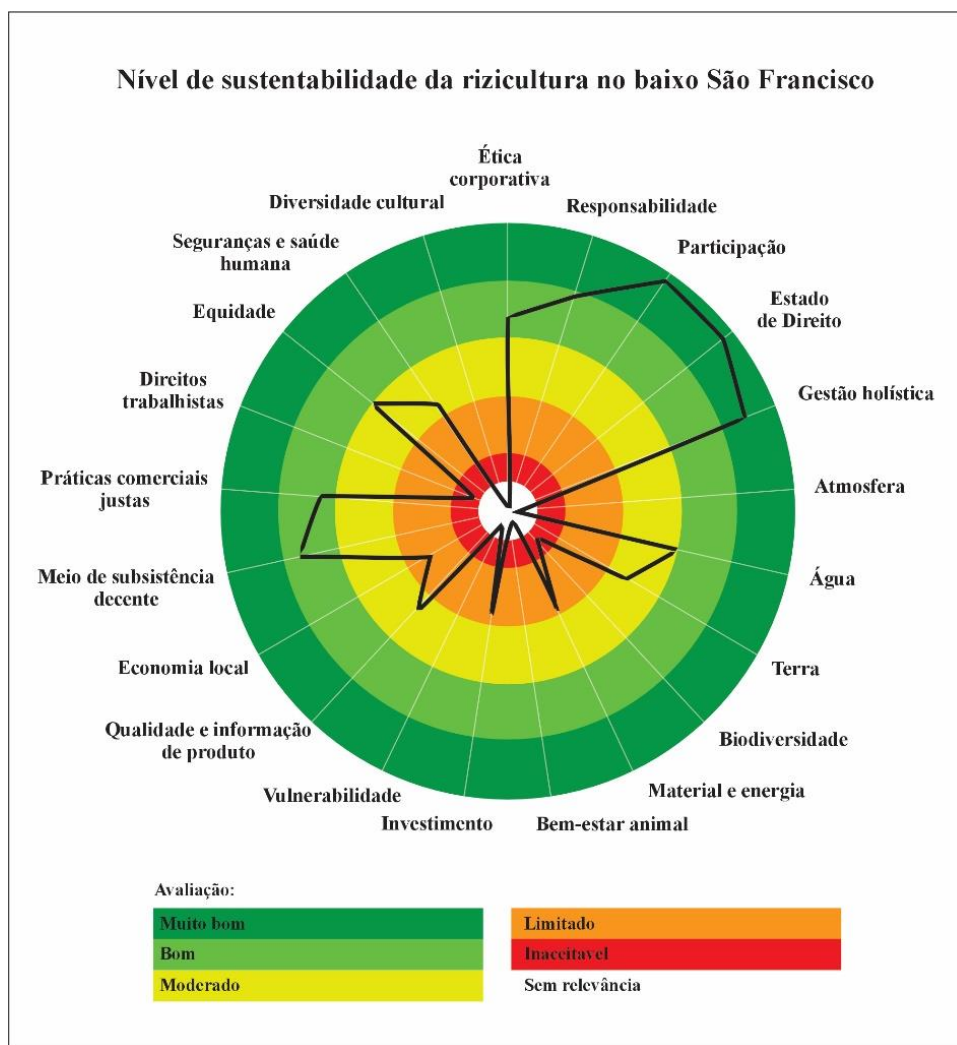
## **9. Sistema de Indicadores SAFA FAO aplicado a rizicultura familiar em Sergipe**

Dos 116 indicadores de sustentabilidade da ferramenta, apenas 44 foram aplicados, justificado nos limites do estudo. Aqui serão apresentados os resultados de desempenho dos indicadores de sustentabilidade agrupados em quatro dimensões: Governança, Integridade Ambiental, Resiliência Econômica e Bem-estar social, aplicados a lavoura de rizicultura sergipana, demonstrados através de gráficos gerados a partir da análise e inserção das respostas levantadas *in loco*.

O *software* fornece três padrões visuais, indicando muito bom (verde escuro), bom (verde claro), necessita de melhora (amarelo), e limitado (vermelho), na qual podemos visualizar os pontos que necessitam de mais atenção, direcionando ações que contribuam para melhorias no seu desenvolvimento.

O gráfico radar (Figura 51) demonstra a relação dos indicadores de acordo com os níveis de sustentabilidade da atividade da rizicultura sergipana levando em consideração as análises realizadas pelo software SAFA.

Figura 51 - Gráfico tipo radar do nível de sustentabilidade da rizicultura na região baixo São Francisco sergipano



Fonte: autor (2024).

A fim de alcançar os objetivos elencados para os indicadores SAFA FAO, a análise dos resultados foram subdivididos entre os órgãos de governança e agricultores locais, contextualizando inicialmente a agricultura familiar na região.

O indicador para atmosfera não foi quantificado devido à dificuldade em assimilação das questões pertinentes ao tema e sua aplicabilidade *in loco*, estudos que realizaram sua aplicação obtiveram resultados considerados inaceitáveis, sendo recomendado o uso de outras metodologias para quantificação de forma mais precisa.

Assim como não foi aplicado o indicador de bem-estar animal, se tratando apenas do cultivo de arroz. E o de diversidade cultural, não se encaixando dentro do escopo do estudo e não possuindo aplicabilidade para a região.

### 9.1 Agricultura Familiar da rizicultura em Sergipe

Sistemas de produção agrícola são baseados em propriedades familiares, onde a família possui papel fundamental na gestão e no trabalho das atividades agrícolas sendo definido como Agricultura Familiar, o Brasil é referência no apoio ao desenvolvimento desta atividade a nível de América Latina (Pedroso et al., 2023; Dias; Dias, 2018).

A organização e exploração de uma propriedade rural assume diferentes acordos dependendo do tipo de cultivo, da criação animal, do perfil socioeconômico do proprietário, da posse da terra, do capital investido e etc, portanto, a Agricultura Familiar se caracteriza pelos diferentes modos de organização das atividades agropecuárias (Castro; Freitas, 2021).

Segundo Schneider (2009), a expressão “Agricultura Familiar” foi encaminhada como nova categoria-sínteses pelos movimentos sociais no campo, surgindo como uma noção de convergência para unificar os interesses dos pequenos proprietários rurais que se encontravam politicamente fora da integração e se julgavam afetados economicamente devido as diferenças de competitividade dos seus produtos.

De acordo com o último Censo Agropecuário, para o ano de 2017, o Estado de Sergipe possuía 234.161 mil pessoas lotadas nos estabelecimentos agropecuários, da qual 73,13% é voltada a Agricultura Familiar, e 26,87% de outros tipos de sistemas.

O perfil da Agricultura Familiar da rizicultura do BSF não possui variações quando comparada a outros tipos de cultivo. Brandão; Sousa; Mélo Silva (2020), a partir de levantamentos realizados na região, descreveram o perfil dos rizicultores no qual a presença do homem no campo (87%) sobressai as mulheres (13%), com faixa etária média total entre 35 e 65 anos, demonstrando o processo de envelhecimento no campo e a saída dos jovens para os centros urbanos em busca de outras oportunidades.

Os entrevistados nesta etapa da pesquisa foram todos do sexo masculino, com média de idade entre 34 e 70 anos, proprietários do lote em que desenvolvem a atividade. Este levantamento demonstra dominância do homem no campo, corroborando com os resultados de Andrade (2016) para o município de Ilha das Flores e Brandão (2020) para o perímetro irrigado Betume em Neópolis, possuindo as mulheres maior envolvimento na prática de mariscagem na região, discutido por Almeida (2019) no povoado Resina em Brejo Grande, todos localizados na margem sergipana do baixo São Francisco.

De acordo com os levantamentos realizados por Brandão (2020); Silva (2020) na região de estudo, a agricultura ainda é o principal meio de sobrevivência, possuindo retorno financeiro baixo, onde grande parte das famílias possuem renda de até um salário mínimo, com nível de escolaridade destacado pelo ensino médio completo, contrastando com o ensino fundamental incompleto bastante presente na região, representado em partes por quem possui maior idade e tempo de atividade.

## 9.2. Dimensões dos indicadores SAFA para o cultivo de arroz em Sergipe

### 9.2.1 Indicadores de Governança

A dimensão de governança foi aplicada apenas aos órgãos que possuem ligação direta com a atividade na região, devido à complexidade das questões referentes aos temas que a compõem, com 19 indicadores distribuído nos subtemas: ética corporativa (3), responsabilidade (3), participação (6), estado de direito (5) e gestão holística (2).

Por se tratar de um tema específico, seus resultados foram analisados de forma comparativa entre o órgão governamental que administra os perímetros irrigados da região BSF e uma cooperativa, localizada na cidade de Ilha das Flores – SE, maior produtor de arroz do Estado, concentrando 45% de toda produção regional segundo o perfil da agricultura de 2022, que auxilia na compra e venda do arroz a um valor justo, além de realizar o beneficiamento de alguns lotes de cooperados.

O termo governança possui diversas definições, segundo Pierre; Peters (2000), governança é um conceito abrangente que possui uma ampla variedade de fenômenos, incluindo redes políticas, gestão pública, coordenação de setores da economia, dentre outros. A comissão sobre Governança Global (*Commission on Global Governance – CGG*) das Nações Unidas a define da seguinte forma:

A soma total dos vários modos como indivíduos e instituições, públicos e privados, administram seus negócios comuns. Trata-se de um processo contínuo, por meio do qual, interesses conflitantes ou diversos podem ser acomodados e uma ação cooperativa estabelecida. Esse processo inclui instituições e regimes formais investidos de poder para impor a observância das regras, do mesmo modo que arranjos informais que pessoas e instituições concordaram em estabelecer ou percebem ser de seu interesse (*Commission on Global Governance, 1995, p. 53*).

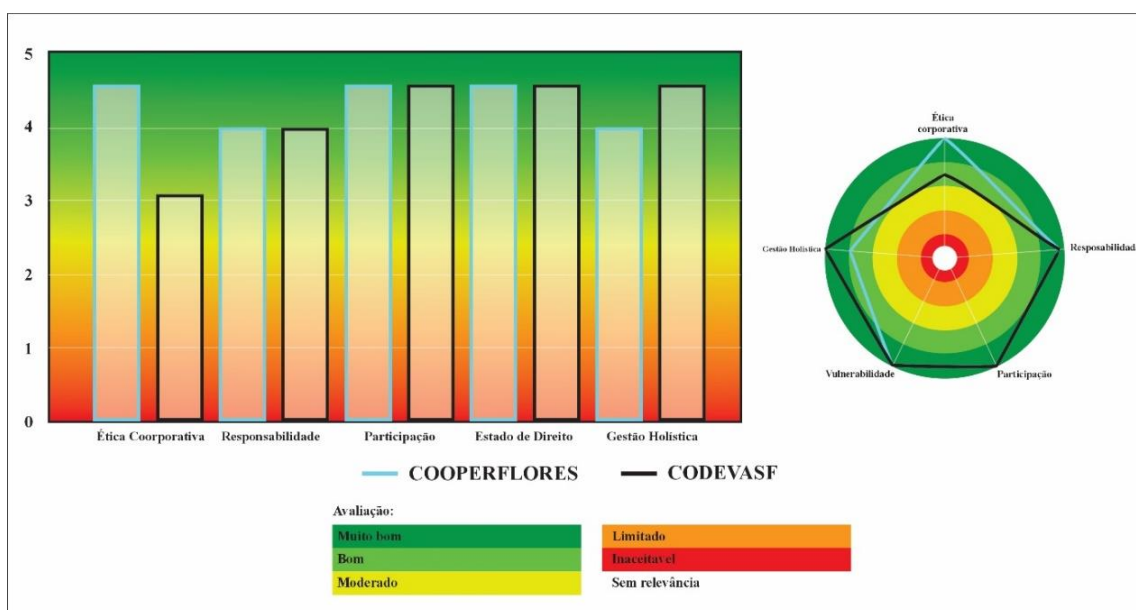
Portanto, a governança envolve além das questões político-institucionais de tomada de decisões, formas de interlocução do Estado com grupos organizados da sociedade no que se refere ao processo de definição, acompanhamento e implementação de políticas públicas (Moura; Bezerra, 2016).

Quando se trata de governança agrícola, Lockie; Kitto (2000) salientam que as práticas agrícolas são oriundas de um contexto sociopolítico ambicioso devido ao capitalismo, se referindo ao contexto das pequenas propriedades, uma vez que as grandes indústrias alimentares e agroquímicas se encontram cada vez mais poderosas.

Dentro do sistema de indicadores proposto pela FAO (2013), a governança é a dimensão mais desafiadora para aplicação da sustentabilidade, devido à dificuldade de mensuração de forma quantitativa, seu desenvolvimento tem como base os temas transparência, participação, responsabilização e Estado de direito.

A gestão de recursos naturais e/ou econômicos que visem suprir as necessidades em uma unidade familiar é visto como indicativo de governança. Para a rizicultura sergipana, esta estruturação se liga a uma série de fatores, necessitando do alinhamento da gestão entre o órgão público, o cooperativismo, os rizicultores, o mercado e a sociedade, objetivando melhorias no processo produtivo e minimização de impactos socioambientais. Os resultados do indicador de governança aplicado estão apresentados na Figura 52.

Figura 52 - Comparativo dos indicadores de governança do cultivo entre o órgão governamental e a cooperativa de arroz na região BSF sergipano



Fonte: autor (2024).

De forma geral, é possível observar que tanto o órgão governamental, como a cooperativa possui níveis de governança bem aproximados, visto que os cinco temas abordados possuem bom índice.

No que tange os resultados observados para os subtemas de governança, a ética corporativa é uma das discussões levantadas pelo SAFA, nascendo a partir do cooperativismo

que busca cooperação solidária para solução de problemas econômicos, causados pela concentração do capital, com princípios baseados nos valores humanos voltados à promoção integral do homem livre de quaisquer preconceitos, adesão voluntário e livre, gestão democrática, participação econômica dos membros, autonomia, independência e intercooperação e interesse pela comunidade (Bonan et al., 2018).

Dentro da ética corporativa foram avaliados três indicadores, para a explicitidade e orientação da missão, articulada com todos os funcionários e membros, os dois órgãos possuem o mesmo índice, estando de acordo, que todos os agricultores em contato direto possuem conhecimento sobre a missão de cada órgão administrativo. Para o *Due diligence* que diz respeito sobre a política de avaliação de impacto e ferramentas apropriadas para o informe de decisões a longo prazo na área da sustentabilidade, a CODEVASF informou não ter este controle para o BSF, tratando o tema da sustentabilidade com ações pontuais. Segundo o responsável pela diretoria da cooperativa, existe a difusão de ações voltadas e treinamentos trazendo a sustentabilidade, devido ao grande potencial de impacto da rizicultura na região.

A respeito da responsabilidade, os dois locais estudados a possuem bem definida, podendo ser demonstrada por meio de documentos e diálogos internos aberto aos cooperados e rizicultores, com reuniões para sanar dúvidas, sendo a transparência priorizada, relatando como os procedimentos e processos de decisões são tomados, evitando assim posteriores conflitos já existentes na região. Já a auditoria holística não se faz presente em nenhum dos dois locais, não possuindo nenhum tipo de relatório de sustentabilidade reconhecido a nível internacional e que esteja sendo trabalhada internamente, justificados pelos entrevistados devido a abrangência ser regional.

Quando o nível de responsabilidade dentro da governança for baixo, o que não é o caso neste estudo, é necessário que o órgão assuma a responsabilidade para melhorar seu desempenho, envolvendo as partes interessadas no monitoramento de desempenho, propondo planos para melhorias (FAO, 2013).

A participação aborda a identificação de todas as partes interessadas, descrevendo o processo pela qual foram identificadas, ambos locais realizam a identificação através dos lotes na região, sendo a CODEVASF, o primeiro órgão que os rizicultores procuram quando necessita de orientação ou se possui algum problema, já a cooperativa não abrange todos os rizicultores, apenas os que a procuram para estabelecer uma relação de cooperado, sendo assim, a participação dos *stakeholders* é efetiva, existindo boa comunicação influenciando nas tomadas de decisão, existindo a gestão compartilhada na qual um membro é eleito pelos irrigantes, ficando este responsável por levantar as demandas, possuindo abertura de

reclamação direta tanto com o órgão governamental, respondendo sobre a administração e distribuição de água entre os lotes, como da parte da cooperativa, sobre época de colheita e vendas, sendo ponte para a resolução de conflitos a partir do diálogo, respeito e compreensão, igualando os níveis hierárquico de poder.

Stoffet; Colognese (2015) na sua pesquisa sobre a sustentabilidade na agricultura familiar utilizando indicadores, índices econômicos e sociais de avaliação em uma região Sudoeste do Estado do Paraná, demonstrou a importância deste tipo de indicador dentro da dimensão social, na qual contribui para o bem-estar dos envolvidos dos associando a participação de decisões coletivas, da mesma forma que acontece com os rizicultores do BSF.

Indicadores que versem sobre regras e legislação para a cadeia de abastecimento alimentar, são importantes já que muitas das propriedades rurais familiares se encontram em desacordo com a lei, devido à falta de conhecimento, tornando os agricultores passíveis de multas e penalidades (Tonetto et al., 2009).

O estado de direito, inclui também as regras e legislações a serem cumpridas, quantificando cinco indicadores para este estudo, no qual, a atividade da rizicultura no BSF é legítima, possuindo a cooperativa o estatuto do cooperativismo de livre acesso aos cooperados, estando a produção de acordo com os regulamentos aplicáveis para ambos os casos, respeitando as leis vigentes, cabendo a CODEVASF, a averiguação do respeito das normas nos lotes como órgão orientador, ficando a fiscalização a cargo da ADEMA e do IBAMA quando necessário, possuindo todas as partes envolvidas no plantio a responsabilidade cívica de forma proativa e transparente para melhoria do processo, havendo as propriedades o consentimento livre, prévio e informado de acesso à recursos indispensáveis para o desenvolvimento do cultivo, a exemplo da água e orientações de aplicações de agroquímicos, com direito a posse em nomes dos rizicultores.

A gestão holística aplicada ao SAFA propõe uma gestão de melhoria continua dos grandes temas propostos com objetivo final de que todas as operações estejam alinhadas ao desenvolvimento sustentável da sociedade (FAO, 2013). Tratando-se de um plano de sustentabilidade, não há indicação de desenvolvimento em nenhum dos estabelecimentos, existindo ações pontuais sobre a temática, mas que não se configuram como um plano de gestão para as dimensões ambiental, econômica e social, necessitando de metas específicas para o alcance de resultados palpáveis, a CODEVASF, possui maior pontuação neste quesito, assim como maior tempo de atuação na região, e para a contabilidade de custos, por se tratar de um órgão com grande visibilidade, com relatórios sobre os impactos diretos e indiretos da atividade

na econômica, sociedade e ambiente físico, inexistente na cooperativa no momento da coleta dos dados.

O desenvolvimento desta ferramenta atualmente está concentrado na região Sul do Brasil. Na quantificação da governança aplicada por Colombo (2017) para a produção de arroz irrigado no Rio Grande do Sul, os índices apresentaram resultado insatisfatório em grande parte dos subtemas, a exemplo da ética corporativa (0) e responsabilidade (0), destacando-se no Estado de direito (3) e gestão holística (2), estes resultados justificam-se pela forma de aplicação, sendo realizada diretamente aos agricultores da região, demonstrando a falta de conhecimento sobre os termos técnicos existentes dentro das questões pré-estabelecida pelo sistema SAFA, sendo indicado a quantificação aos órgãos de gestão responsáveis, não possuindo as propriedades um sistema de gestão de suas atividades.

Os resultados aqui apresentados corroboram com os de Oliveira; Hanisch; Rosa Farias (2023) para o cultivo de Tabaco no sul do Brasil, na qual existe um suporte técnico e comercial que auxiliam as famílias a desenvolverem as atividades adequadamente, possuindo conhecimento sobre governança na agricultura, contribuindo para uma agricultura familiar sustentável.

Quando aplicada duas organizações para obter a certificação sustentável do sistema da banana no equador, sendo uma privada e uma pública, Bonisoli et al., (2019) levantou semelhanças a nível de governança, assim como levantado aqui para o arroz do BSF, onde apenas um dentre os cinco temas possui valor diferenciado, limitando o conhecimento da missão dos colaboradores da organização privada.

Bonatto (2018) cita a dificuldade de quantificação da dimensão de governança para sistemas agropecuários, aqui também demonstrada, devido à falta de realização da gestão por parte do pequeno agricultor, não sendo possível seguir nenhum procedimento sugerido nas diretrizes da SAFA devido à falta de monitoramento interno nos lotes, no qual apenas a transparência possuiu um indicador bom, ficando os outros abaixo de 3 na quantificação final, ou seja, necessitando de melhoras.

## 11.2 Indicadores de Integridade Ambiental

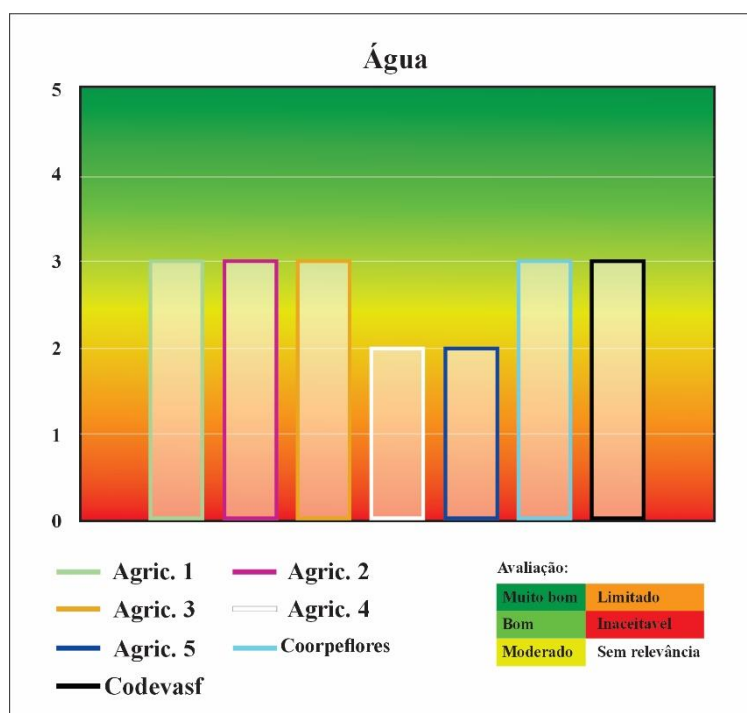
A agricultura brasileira é mutável, mudando a todo o instante devido os avanços realizados pela ciência e tecnologia no país, com estudos que melhoram a eficiência no uso do solo, da gestão de recursos hídricos e de aplicações de agroquímicos, contribuindo com a participação do Brasil no mercado internacional de alimentos (Conceição; Conceição, 2014).

A integridade ambiental consiste em manter os sistemas de suporte de vida essenciais para a sobrevivência humana, minimizando os impactos antrópicos, promovendo a recuperação ambiental (FAO, 2013). Somados aos outros indicadores, este tema possui grande relevância para a região estudada, sendo aplicada a toda a amostragem da pesquisa, os agricultores, o órgão governamental e a cooperativa de arroz.

Os seguintes temas para as questões ambientais foram abordados com 9 indicadores analisados, escolhidos com base no conhecimento prévio dos sistemas de cultivo na região: Água (2), Terra (2), Biodiversidade (1), Material e energia (2).

O uso da água possui um grande enfoque ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho de tese, devido a sua importância para o desenvolvimento da agricultura regional em particular do arroz, que demanda grande quantidade no seu desenvolvimento e beneficiamento, quando inserida a etapa de parboilização. Os resultados para o indicador de uso da água estão apresentados na Figura 53.

Figura 53 - Valores comparativo para o indicador de uso da água do cultivo de arroz na região BSF sergipano.



Fonte: autor (2024).

Por se tratar de um dos principais recursos utilizados, existe uma difusão da importância dos recursos hídricos para a atividade, apresentando um nível de sustentabilidade bom de acordo com avaliação SAFA. Quando questionados sobre a existência de metas de conservação de água nas propriedades, com enfoque na redução de consumo, 71% responderam que realizam

práticas no momento do manejo do plantio, respeitando a distribuição de água entre os lotes a partir dos canais existentes na região (Figura 54), evitando manter a lamina d'água acima do necessário, assim a captação de recurso hídrico pode ser aproveitada em outra localidade, justificando que “a água em excesso prejudica o desenvolvimento do arroz” e 29% sinalizaram que não realizam nenhuma ação de conservação já que “o arroz precisa de água para desenvolver”.

Figura 54 - Comporta de distribuição de água na região.



Fonte: autor (2024).

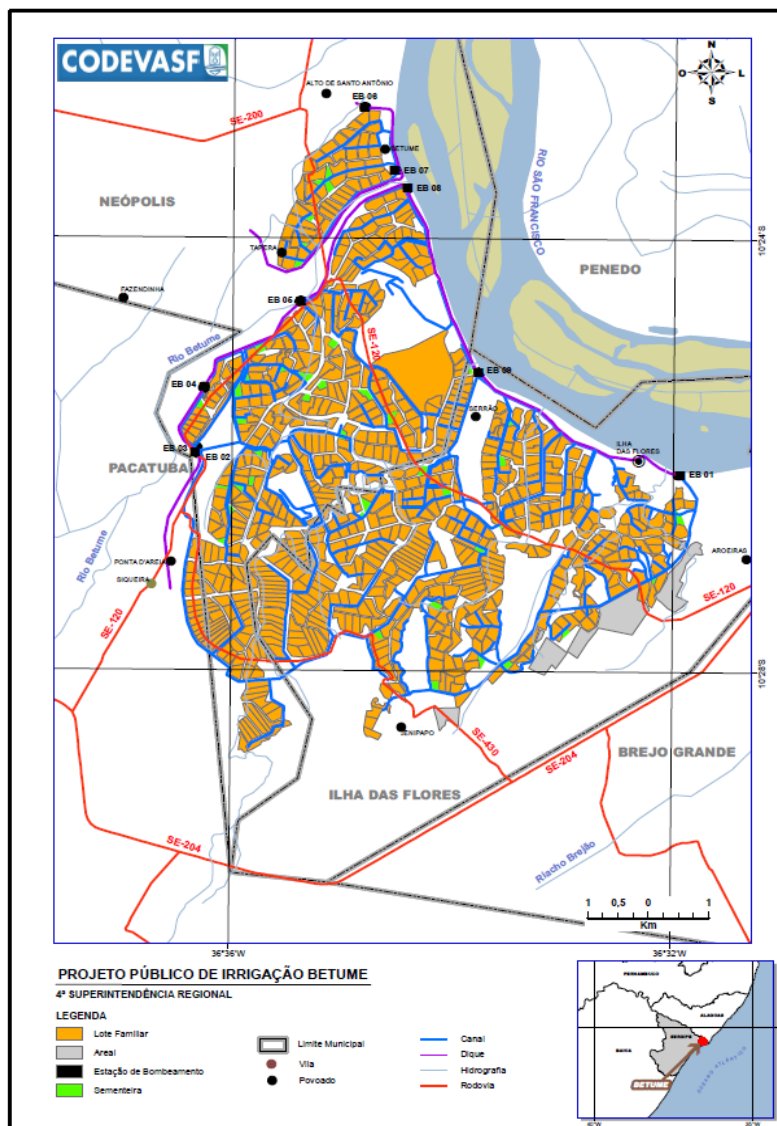
As faltas de metas para conservação dos recursos hídricos podem gerar problemas futuros na região, Soldi et al., (2019) em sua pesquisa para os sistemas agrícolas na região leste do Paraguai a partir do sistema SAFA, levantou que o abastecimento é um problema comum em cinco classes de sistemas agrícolas na localidade, sendo necessário o engajamento conjunto para a resolução do problema a partir da recuperação ambiental.

A CODEVASF possui 09 estações de bombeamento d'água, captada diretamente do rio São Francisco e de seus afluentes (Figura 55), distribuída entre os lotes irrigáveis pelos canais existentes na região, o valor da tarifa de água cobrada no perímetro irrigado Betume por rizicultor para o cultivo de arroz é de R\$380/ha por safra, baixo se levada em conta a quantidade de água consumida por lote, demonstrando a necessidade regularização de forma que o rizicultor não seja prejudicado, garantindo boa qualidade da água na região.

Foram captados do rio São Francisco e do principal afluente, na margem direita do estado de Sergipe, o rio Betume, cerca de 32.478.950,00 m<sup>3</sup> pelas estações de bombeamento de

água EB01, EB02, EB03, EB05, EB07, EB07 e EB09 para distribuição no perímetro irrigado Betume somente no ano de 2022.

Figura 55 - Localização das estações de bombeamento no perímetro irrigado Betume do cultivo de arroz na região BSF sergipano.



Fonte: Codevasf (2024).

Outro indicador hídrico importante quantificado é o de prevenção a poluição hídrica na região do BSF, tema recorrente associado ao cultivo de arroz irrigado devido seu potencial poluidor. Segundo Britto et al., (2016), a atividade de rizicultura na localidade do estudo pode contaminar o meio ambiente através do processo de lixiviação e da drenagem dos lotes, apresentando um processo de carreamento de fertilizantes e matéria orgânica para o corpo hídrico receptor.

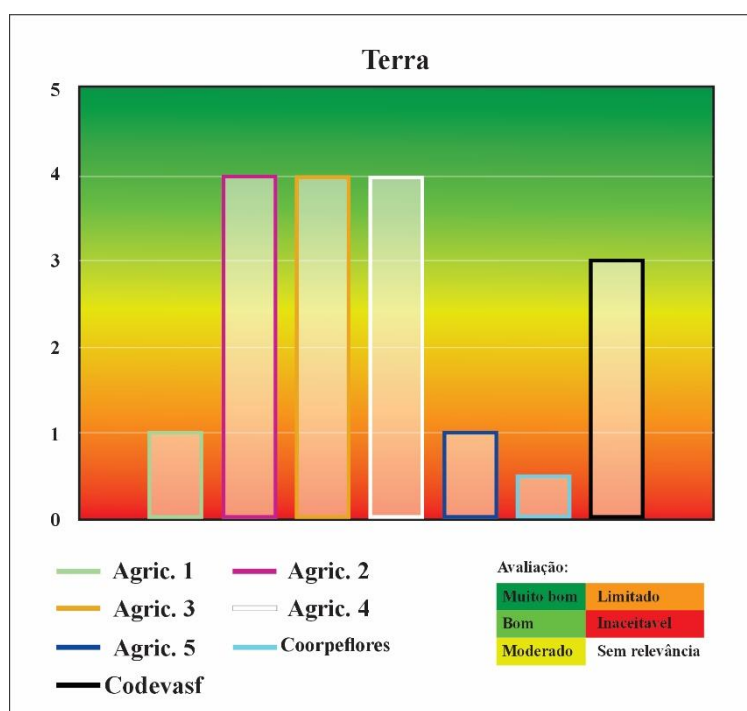
As práticas de prevenção da poluição da água são importantes, quando perguntados sobre existência ou formas de impedimento de liberação de poluentes na água, 57%

responderam que não existe um controle para a poluição da água devido a forma como é feita a aplicação de químicos nas etapas do cultivo a “depende do agricultor”, 43% responderam que minimizam o uso de químicos, buscando uma prática mais aproximada ao conceito agroecológico, definida por Leff (2002) como um novo paradigma produtivo envolvendo o estudo da ciência, técnicas e práticas para uma produção ecologicamente sustentável no campo.

A partir da entrevista realizada na CODEVASF, foi citado o apoio por parte do órgão a realização do monitoramento ambiental por parte da ADEMA, existindo uma descrição da atividade no site do Governo do Estado de Sergipe, onde é realizada a avaliação da qualidade da água dos corpos d’água como rios e nascentes em todo Estado, a partir das resoluções CONAMA Nº 357/2005 para classificação dos corpos d’água, enquadramento e padrões de lançamento de efluentes e CONAMA Nº 274/2000 para saúde e bem-estar humano que podem ser afetados pelas condições de balneabilidade, não citando a região do BSF dentre os locais estudados com última atualização no ano de 2017.

O bom desenvolvimento da agricultura, depende de diferentes fatores, sendo a avaliação da qualidade do solo imprescindível para uma boa safra ao final de cada ciclo. O sistema SAFA aborda a parte da terra não coberta por água, quantificando sua qualidade e degradação (FAO, 2013). Os resultados para o indicador de conservação do uso da terra estão apresentados na Figura 56.

Figura 56 - Valores comparativo para o indicador de uso da terra do cultivo de arroz na região BSF sergipano



Fonte: autor (2024).

O nível de sustentabilidade do indicador é bom e moderado na maioria das propriedades, aparecendo a categoria inaceitável em dois sistemas de arroz, não contado com a cooperativa devido a falta de realização de análise de solo. É necessário o monitoramento para melhora do uso do solo na região. Nos Estados de Alagoas e Sergipe a prática da rizicultura é feita em solos hidromórficos, saturados pela água numa área de 8.300ha (Figura 57), localizados nos projetos de irrigação implantados pelo Governo Federal (EMBRAPA, 2013). Quando questionados se existe implementação prática de melhorias e se as qualidades do solo são boas em relação ao clima local, 86% dos entrevistados responderam que é realizada coleta do solo nos lotes de arroz para posterior análise em laboratório com objetivo de melhorar a produtividade na região, realizada com orientação de engenheiro agrônomos na região a partir da CODEVASF. Apenas 14%, representada pela cooperativa que não realiza esta análise, mas indica que seja feita.

Figura 57 - Solo hidromórfico saturado em lote agrícola na região do BSF sergipano



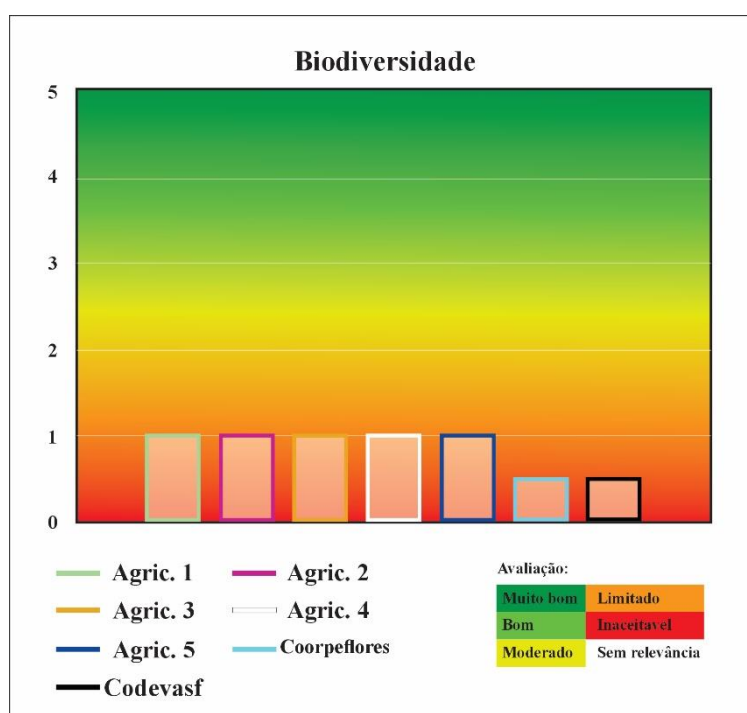
Fonte: autor (2024).

A boa qualidade do solo não somente aumenta a produtividade das culturas, mas também, mantém a qualidade do meio ambiente utilizado em atividades agrícolas, melhorando a saúde das plantas, dos animais e do homem (Fageria; Stone, 2006). Britto (2015) ao analisar os impactos da produção de arroz inundando no Betume, identificou 19 princípios ativos presentes na composição dos agroquímicos utilizados na região, no qual apresentam alta persistência no solo da região, ocasionando seu acúmulo, podendo afetar a produtividade assim como contaminar as águas subterrâneas.

A biodiversidade agrícola abrange a variedade e variabilidade de animais, plantas e microrganismos necessários para sustentar as funções do agroecossistema, sua estrutura e os

processos de apoio à segurança alimentar, incluindo os seguintes sub-temas: Diversidade de Ecossistemas, Diversidade de Espécies e Diversidade Genética (FAO, 2013). Para este estudo foi analisado apenas o indicador de diversidade da produção já que os outros não seriam atingíveis a partir da aplicação das entrevistas de coleta de dados. Os resultados para o indicador de biodiversidade estão apresentados na Figura 58.

Figura 58 - Valores comparativo para o indicador de biodiversidade do cultivo de arroz na região BSF sergipano



Fonte: autor (2024).

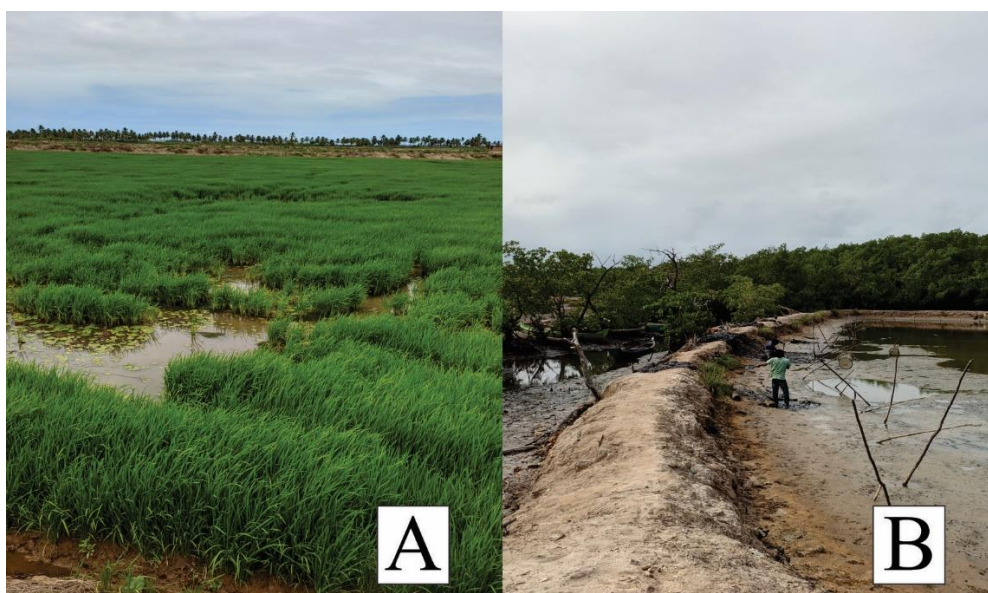
O nível de sustentabilidade do indicador limitado por parte dos rizicultores, é inaceitável quando se trata do órgão e da cooperativa, necessitando do envolvimento de todos, para propor mudanças a fim de atingir novos índices. Por se tratar da biodiversidade nas lavouras de desenvolvimento do arroz, a CODEVASF não pontuou devido o envolvimento apenas na gestão, assim como a cooperativa também pelo mesmo motivo (29%), o restante da amostragem (71%) possui o mesmo nível de avaliação, demonstrando ser limitado para o cultivo, justificado pelos tanques serem específicos, destinados apenas ao cultivo de arroz, mas que existe a sazonalidade da atividade na região, em conjunto com a carcinicultura, ou seja, cultivo de camarão.

O território do BSF passa por transformações, a limitação da vazão ocasionada após a construção da barragem de Xingó, alterou a dinâmica socioambiental da região e dos

municípios ribeirinhos margeados pelo rio, contribuindo para a salinização da água doce (Alves et al., 2017).

Devido a este processo de salinização, ocorreu um forte desenvolvimento do cultivo de camarão-cinza (*Litopenaeus vannamei*) na região entre 2004 e 2011, sendo a cidade de Brejo Grande, considerada a maior produtora de camarão em cativeiro do Estado de Sergipe, trazendo por um lado benefícios financeiros aos agricultores locais, e por outro agregando impactos ambientais da rizicultura devido à falta de instrução e adaptação correta dos tanques para migração correta da atividade. Na Figura 58 é possível observar o cultivo de arroz e de camarão na região do BSF.

Figura 58 - Cultivo de arroz (a) e tanque de cultivo de camarão (b) na região do BSF sergipano



Fonte: autor (2024).

O avanço da atividade de carcinicultura na localidade vem afetando diretamente o ecossistema manguezal devido a abertura de tanques sem o devido licenciamento ambiental, impactando de forma direta no desenvolvimento de Aratu-vermelho (*Goniopsis cruentata*, Latreille, 1803) e das outras espécies de animais e plantas dependentes deste ambiente (Figura 60).

Figura 60 - Aratu-vermelho no manguezal próximo a tanques de carcinicultura na região BSF sergipano



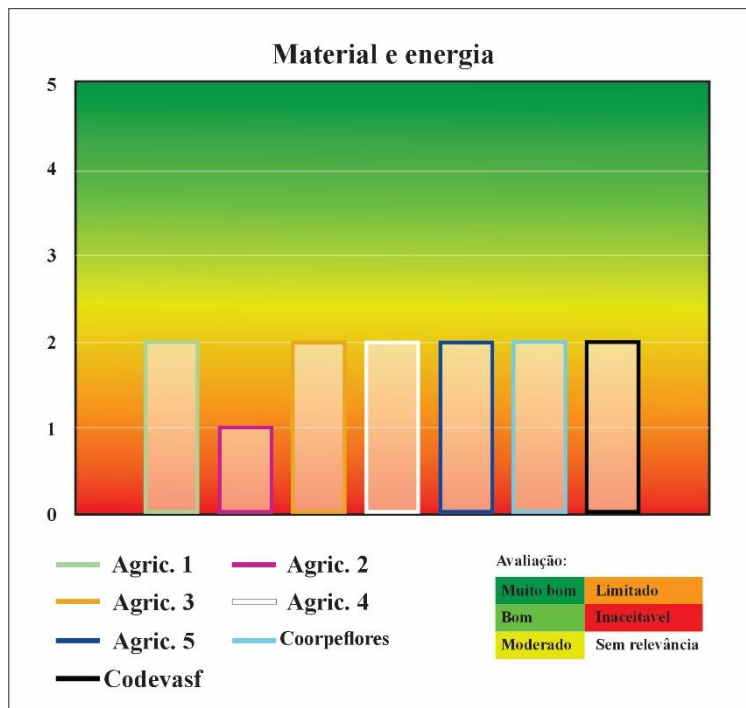
Fonte: autor (2024).

Esta prática vem se tornando comum nesta localidade, Safadi (2018) apontou em seu trabalho que os impactos socioambientais da carcinicultura nos povoados Pontal dos Mangues e Boca da Barra no município de Pacatuba, em Sergipe, possuem rápida evolução na ocupação dos manguezais, os convertendo em grandes viveiros de camarão de forma insustentável.

Após um período de baixa, o arroz vem retornando ao seu protagonismo no território do BSF graças ao aumento da vazão do rio e da valorização econômica que permite que os rizicultores possam ter ganhos maiores, se mantendo ativos na atividade, sem necessidade de uma segunda atividade para complementação de renda, sendo importante destacar que as variáveis ambientais para biodiversidade necessitam de análises mais aprofundadas, destacando aqui a visão do rizicultor de acordo com sua atividade de trabalho.b

O indicador para materiais e energia do SAFA, refere-se ao insumo de material consumido a partir do ambiente natural, da transformação e de seu retorno natural ao ambiente como resíduo ou resíduos, possuindo os seguintes sub-temas: uso de materiais, uso de energia, redução e eliminação de resíduos (FAO, 2013). O foco na aplicação aqui foi em dois indicadores, que versam sobre a meta para redução e descarte de resíduos. Os resultados para o indicador de materiais e energia estão apresentados na Figura 61.

Figura 61 - Valores comparativo para o indicador de material e energia do cultivo de arroz na região BSF sergipano



Fonte: autor (2024).

O tópico de resíduos é um ponto importante para a discussão na região, devido à importância correta dos vasilhames de agroquímicos utilizados ao longo do desenvolvimento do arroz. O nível de sustentabilidade é limitado, 86% dos entrevistados afirmaram ser informado sobre a importância na redução dos resíduos provenientes destes tipos de químicos e sua periculosidade para a saúde humana, quando sua aplicação for realizada de maneira errada, assim como, a necessidade da destinação realizada de forma correta, afirmando que são “devolvidas para a cooperativa”, “a CODEVASF recolhe”, “recolhidas pelos vendedores” e “recolhidas pela cooperativa”. Os outros 14% afirmaram que é realizado campanhas estaduais de coleta destes resíduos, mas que o controle é dificultado devido a quantidade de lotes e o número de funcionários para realização do monitoramento.

A realidade na região ainda se encontra distante do ideal, estudos anteriores levantam que o descarte irregular ainda é presente nos produtores de arroz no BSF, Andrade (2016) para o município de Ilha das Flores e Brandão (2020) para o perímetro irrigado Betume destacam que o reaproveitamento dos vasilhames para fins potáveis, de pesca, além do enterramento e queima nos lotes de arroz é bastante presente, afetando diretamente o solo exposto, podendo prejudicar o lençol freático a partir do processo de lixiviação (Figura 62).

Figura 62 - Descarte irregular de resíduos de insumo do cultivo do arroz na região do BSF.



Fonte: autor (2024).

Devido a importância de destinação correta das embalagens, o Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (INPEV) desenvolve o Sistema Campo Limpo, em operação desde 2002, caracterizado como um sistema brasileiro de logística reversa de embalagens vazias ou com sobras pós-consumo de defensivos agrícolas, regulamentada pela Lei Federal de Agrotóxicos Nº 7.802/1989 e pelo Decreto Federal Nº 4.074/2022 (INPEV, 2022). O Estado de Sergipe possui um posto deste sistema localizado na cidade de Própria, sendo uma unidade menor que recebe e separa as embalagens para serem enviadas para as centrais, gerenciado pela prefeitura municipal.

No estudo realizado por Santiago (2023) sobre a logística reversa das embalagens de agrotóxicos no campo sergipano, a autora destaca a relevância do Sistema Campo Limpo para o Brasil, não funcionando de maneira desejáveis nos pequenos municípios devido à falta de cumprimento da legislação vigente, possuindo a Associação dos revendedores de produtos Agropecuários do Estado de Sergipe, maior relevância devido seu cumprimento da legislação na realização do descarte adequado das embalagens em parceria com algumas prefeituras que são encaminhadas para usinas de reciclagem ou incineração.

Na aplicação dos indicadores SAFA para o arroz na região sul do Brasil, Colombo (2017) demonstrou que os níveis de sustentabilidade são baixos, nenhum indicador atingiu uma média boa, sendo moderada para o solo e materiais e energia, limitada para a água, chamando

atenção devido a importância do recurso para a atividade do arroz e inaceitável para a biodiversidade, devido à falta de rotatividade de cultivo, assim como relatados nos resultados deste estudo para a região do BSF.

No trabalho de Oliveira; Hanisch; Farias (2023) também na região Sul, as dimensões de água e biodiversidade possuem o menor nível sustentabilidade entre os temas abordados para o cultivo de Tabaco, onde segundo os autores estão de acordo com a situação atual da comunidade, uma vez que seu principal corpo hídrico se encontra degradado. Neste sistema de cultivo a avaliação de materiais e energia é positiva, resultado da importância de investimentos em sistemas que diminuem a geração de resíduos e melhora o desempenho da produção.

Para a produção agroecológica realizada no município de Ipê no Rio Grande do Sul, Freitas (2023) demonstra que a água na cidade é bem aproveitada, possuindo também plano de conversação de habitats, que afetam diretamente o nível de sustentabilidade do indicador de biodiversidade, sendo o uso da terra o único indicador com menor valor, justificado pela autora devido a mudança na cobertura da terra após sua compra, sendo atualmente compensada com ações de reflorestamento.

Ainda se tratando de América Latina, Bonisoli (2019) destaca que os recursos hídricos e terrestres possuem boa validação na produção de banana em uma região do Equador, possuindo melhor desempenho na produção orgânica, com maiores níveis de sustentabilidade, mas com baixos níveis para a biodiversidade, assim como apresentando nesta pesquisa para o arroz devido o tipo de sistema de cultivo.

No Paraguai os níveis de integridade ambiental variam de acordo com o tipo de agricultura desenvolvida, para a agricultura familiar, a mesma realizada pelos agricultores na região do BSF, o nível de sustentabilidade foi bom, destacando o controle da produção para minimização dos impactos ambientais gerados e do uso de materiais reciclados, mas existindo problemas com abastecimento de água (Soldi et al., 2019).

Na Colômbia, a aplicação foi realizada em um território indígena para populações vulneráveis da Amazônia, demonstrando que os níveis de integridade ambiental se destacam devido o cuidado com o ambiente em que ocupam na qual os indicadores de água e biodiversidade possui avaliação muito boa, assim como equidade e diversidade cultural, possuindo fragilidades relacionado a governança (Heredia et al., 2020).

Para a África, os indicadores ambientais quantificados, no cultivo de vegetais, demonstraram grande relevância para o uso da água e do solo, devido a redução do uso de ingredientes ativos altamente persistentes na água e de inseticidas sintéticos, assim como para

a diversidade de espécies e mesmo possuindo redução no uso de químicos, apresentou baixo nível se tratando do indicador de uso de material (Blockeel, 2023).

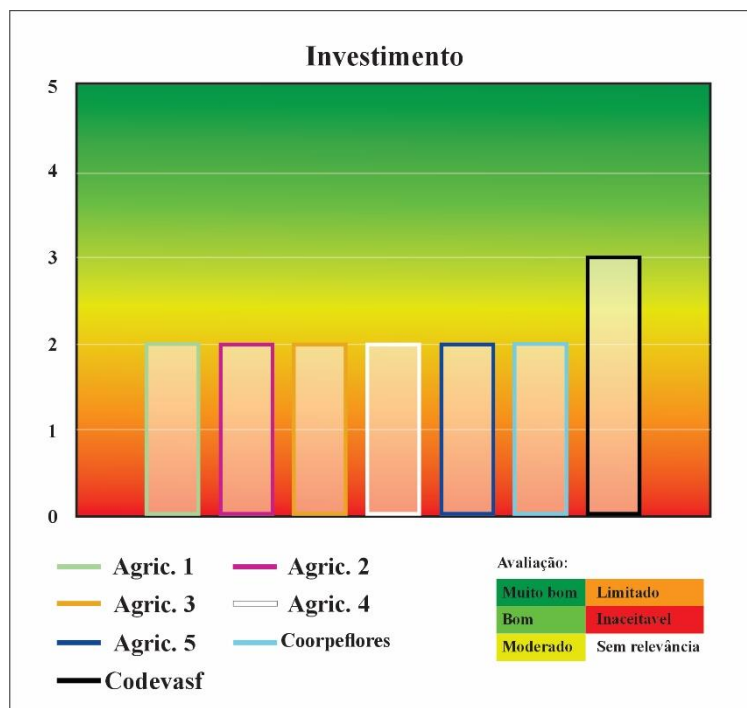
Rodrigues et al., (2021) aplicou a ferramenta SAFA para os cultivos de cereais no condado de Escânia na Suécia, demonstrando em seus resultados que quase todos os tipos de cultivo atingiram níveis de sustentabilidade elevados, destacando baixo, para uso e qualidade do solo devido à falta de terras cultiváveis, sendo alto no uso da água de acordo com os sistemas de água para captação e uso na irrigação, sendo positivos para os outros subtemas.

A depender do tipo de cultivo e suas formas de produção, os indicadores SAFA podem demonstrar quais subtemas são mais afetados pelas mudanças antropogênicas no meio ambiente, a exemplo do desmatamento para abertura de pastos e da retirada de água sem um estudo prévio e posterior controle.

### 9.2.2 Indicadores de Resiliência Econômica

O desenvolvimento da atividade de rizicultura na região do BSF se destaca devido sua relevância econômica local e estadual. Os indicadores de resiliência econômica proposto pelo SAFA se concentra na atividade econômica ligada a mão-de-obra, recursos naturais e capital para produção de bens e serviços, abrangendo os seguintes temas: investimento (2), vulnerabilidade (1), segurança, qualidade do produto (3) e economia local (2) (FAO, 2013). A aplicação para a região abrangeu oito indicadores, os resultados para o indicador de investimento estão apresentados na Figura 63.

Figura 63 - Valores comparativo para o indicador de investimento do cultivo de arroz na região BSF sergipano



Fonte: autor (2024).

Apurar os custos de uma produção é um aspecto importante para viabilidade de qualquer negócio, possibilitando identificar a destinação adequada dos recursos e se a atividade é rentável (Thomaz et al., 2015). O investimento possui relevância quando se fala de desenvolvimento sustentável, estando atrelado a produção e ao crescimento econômico em diferentes localidades, contribuindo no alcance dos ODS. Para a região, o nível de sustentabilidade é moderado, quando questionados se os rizicultores investiram nas suas propriedades nos últimos 5 anos para melhora do desempenho social, ambiental, econômico e de governança, 86% responderam que sim, justificando investimento com materiais para melhoria da produção, citando a dificuldade em conseguir crédito nos bancos e da aplicação de terceiros que investem nos lotes para compra da produção, normalmente realizados por empresários do beneficiamento de arroz. A CODEVASF (14%), não possui envolvimento com os investimentos feitos pelos rizicultores para a atividade.

O acesso a políticas públicas para agricultura familiar é um dos principais pilares para o investimento e desenvolvimento interno nas propriedades. Segundo o Sette; Fortini (2017), dos financiamentos no Estado de Sergipe, 47,4% são oriundos de programas de crédito e 52,6% de outros tipos de programas, a exemplo do financiamento a partir de bancos nacionais. Do

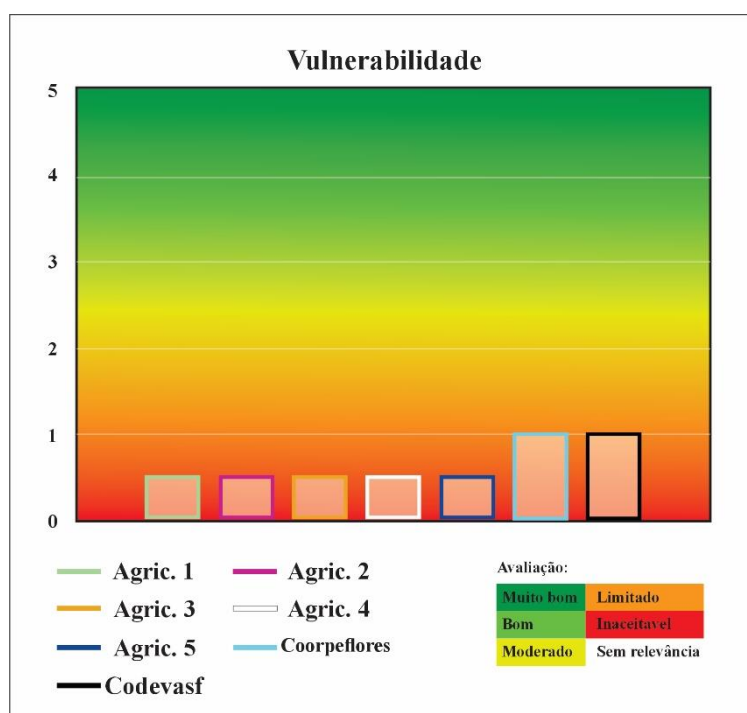
recebido independente da modalidade de financiamento, 67,1% do valor é voltado ao investimento interno das propriedades.

Quando se fala dos programas de crédito, destaca-se o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), criado em 1995, visando a promoção do desenvolvimento de atividades e serviços agropecuários e não agropecuários em estabelecimento rurais de agricultores familiares, a partir da concessão de financiamentos por meio de créditos e microcréditos no qual contribui com 76,9% dos financiamentos realizados em Sergipe (Texeira, 2023; Carvalho; Costa, 2021; Sette; Fortini, 2017).

Este programa possui amplo desenvolvimento no Estado, contribuindo para que pequenos agricultores, consigam desenvolver seus cultivos sem a necessidade de endividamento por parte dos bancos, com juros altos, não se prejudicando caso o retorno das produções não saiam como esperado.

A vulnerabilidade de empresas, cadeias de valor e mercados devido as dinâmicas dos fatores naturais e socioeconômicos, podem ser protegidos, tendo sua resiliência reforçada através da capacidade adaptativas das unidades produtivas (FAO, 2013). Se tratando deste indicador, foi analisada a determinação de preço e a dependência do fornecedor líder, estando os resultados para a vulnerabilidade apresentada na Figura 64.

Figura 64 - Valores comparativo para o indicador de vulnerabilidade do cultivo de arroz na região BSF sergipano



Fonte: autor (2024)

O nível de sustentabilidade é limitado para a CODEVASF e a cooperativa de arroz, na análise dos rizicultores é inaceitável. Ao analisar estes indicadores, fica nítido a necessidade de metas para o alcance da sustentabilidade, a partir da garantia de preço justo, práticas que promovam a independência dos rizicultores para garantia dos insumos de produção, estas atrelada as compras de agroquímicos pré-determinado por vendedores, a nível regional na qual muitas vezes procuram diretamente os agricultores para vender seus produtos sem possibilitar a procura por parte dos mesmos por valores menores, sendo este um ponto vulnerável.

Outro ponto são os valores praticados para venda das colheitas, muitas vezes com retorno financeiro mínimo para quem produz, citado com frequência os problemas recorrentes com os “atravessadores” que ditam os valores na região, devido à falta de uma política de preço para o atendimento destas pessoas, acabam repassando suas produções para não acabar saindo no prejuízo total.

Assim como, o levantado na aplicação das entrevistas, Silva (2020) no seu levantamento do arroz agroecológico no perímetro irrigado Betume, levantou que os “atravessadores” são o segundo maior problema, ficando atrás apenas das pragas, que atingem os plantios, caracterizados como intermediadores que atuam na cadeia produtiva promovendo o elo logístico entre produtores e comerciantes, descrito pelos entrevistados como “o mal necessário”, sendo uma das poucas opções de repasse das produções na região, tirando uma grande porcentagem de lucro em cima dos agricultores, diminuindo os ganhos em reais, fazendo parte do movimento da rizicultura no BSF.

Se tratando das sementes utilizadas no plantio, parte são fornecidas pela CODEVASF através do governo do Estado de Sergipe, por tamanho de loteamento, e quando necessária de uma quantidade maior que a recebida, os agricultores realizam a compra a fim de garantir o atendimento total de sua área de produção.

Com o intuito de normatizar os preços praticados para venda de arroz em casca, o MAPA lançou uma portaria N°452 de 4 de julho de 2022, no qual o valor da saca com 60kg deveriam ser vendidos a um valor mínimo de 78,57 nos anos de 2022/23. Esta normatização contribui com a independência do rizicultor no campo na hora de revenda de sua colheita.

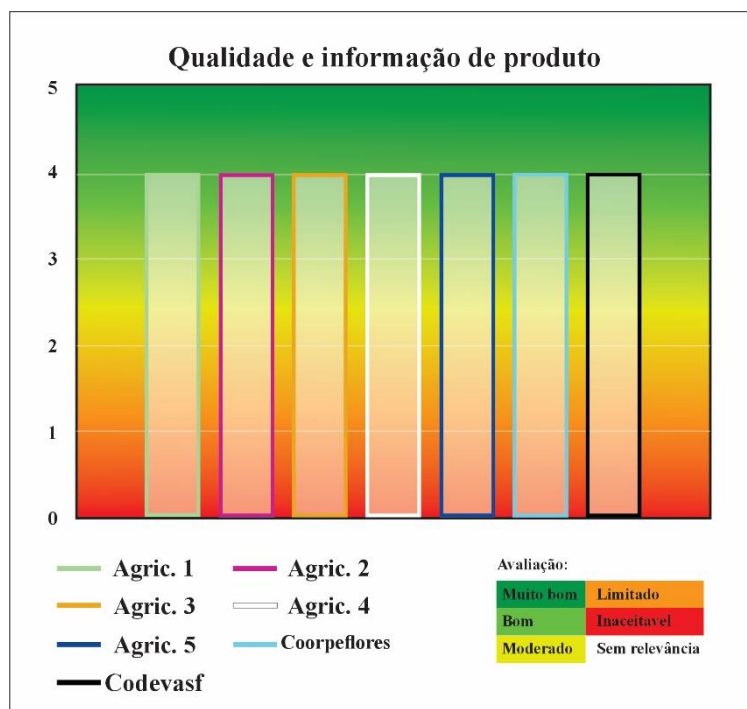
O arroz é um cereal indispensável na dieta brasileira, sua dinâmica de preço possui variação anual devido a oferta demanda a depender da época do ano. Segundo Wander; Silva (2014), a estreita relação da precificação do arroz nacional, com a produção interna dos países do Mercosul, em especial o Uruguai e a Argentina, assim como do estado do Rio Grande do Sul, influência diretamente nos valores praticados nos estados brasileiros.

Segundo o levantamento feito pelo EMDAGRO (2020), com a pandemia da Covid-19 os preços de produtos tiveram um aumento de 53,7% quando comparado a períodos anteriores. Contribuindo na inflação dos valores dos alimentos no Brasil, se destacando o arroz e feijão que ganharam importância no período de altos casos, elevando seu valor de mercado (Baccarin; Oliveira, 2021).

Portanto, a relação de oferta e demanda ocasionada pela pandemia revela a necessidade reformulação do modelo agrícola brasileiro, e o importante papel que os pequenos produtores desempenham dentro da cadeia produtiva, demonstrando urgência de políticas públicas que incentivem a produção e regulamentação dos preços (Silva et al., 2021).

Resumidamente, o indicador de qualidade do produto, é a influência que as características de um produto podem ter e sua capacidade para satisfazer as necessidades dos seus usuários de acordo com as normas declaradas. Os subtemas incluídos são: segurança alimentar, qualidade alimentar e informações do produto. Se tratando deste indicador, foi analisada o uso de pesticidas perigosos, a contaminação de alimentos e a qualidade alimentar, estando os resultados apresentados na Figura 65 abaixo.

Figura 65 - Valores comparativo para o indicador de qualidade e informação de produto do cultivo de arroz na região BSF sergipano



Fonte: autor (2024)

Segundos os dados levantados em campo, o nível de sustentabilidade é bom, a produção de arroz é feita de acordo com as diretrizes para segurança alimentar, segundos os rizicultores

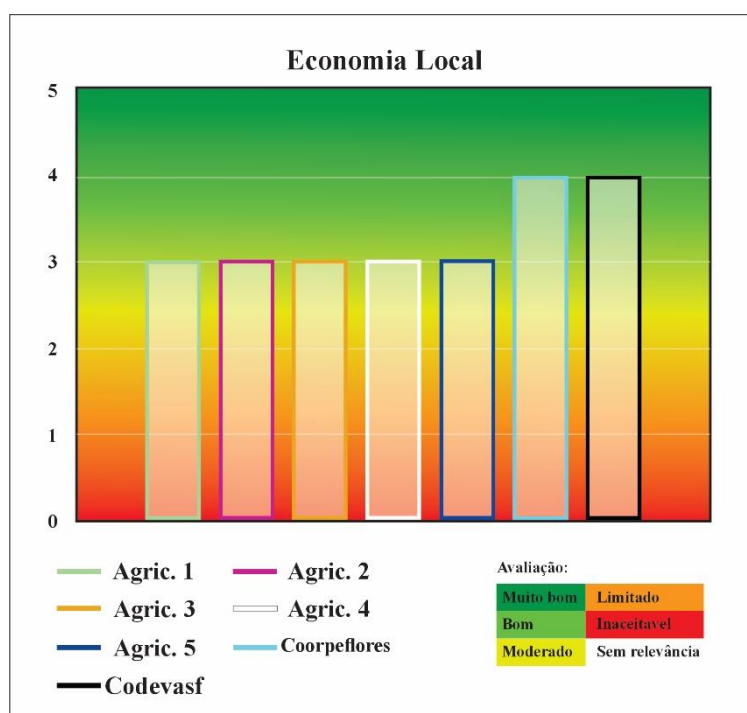
são realizados amostras em laboratório, antes da etapa de beneficiamento para conferir a qualidade do arroz. Não existe nenhum caso de contaminação de alimentos devido aos resíduos de pesticidas, atendendo as normas de padrões de qualidade exigidos para comercialização.

No Brasil, a Lei Nº 11.346/2006 instituiu o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional (SISAN), dando origem ao Conselho Nacional de Segurança Alimentar (CONSEA) e a Política Nacional de Segurança Alimentar (PNSAN), esta legislação contribuem para as medidas de segurança alimentar na produção, sendo instruída seu seguimento para agroindústria (Santos; Silva, 2022).

Portanto, para que o preço justo e competitivo seja seguido, é importante que a produção de um arroz de qualidade que demanda de estudo, técnica e acompanhamento do cultivo pelos órgãos responsáveis, orientando os agricultores a buscar uma produtividade de alto nível e consequentemente uma maior qualidade no produto final.

Por fim, o ultimo indicador para a resiliência econômica diz sobre a economia local, considerada a partir da perspectiva da empresa e dos seus contribuintes, incluídos no desenvolvimento econômico local, agregando os subtemas de criação de valor e aquisições legais (FAO,2013). Para este indicador, foi analisado a força de trabalho regional e o compromisso fiscal, os resultados estão apresentados na Figura 66 abaixo.

Figura 66 - Valores comparativo para o indicador de economia local do cultivo de arroz na região BSF sergipano



Fonte: autor (2024)

A economia do campo é comumente chamada de rural, fazendo a agricultura parte do efeito multiplicador da economia, tratando da produção, distribuição e consumo de bens e serviços provenientes do meio rural (Esteves, 2012). Os níveis de sustentabilidade para economia local se encontram moderado entre os rizicultores, elevando para bom, quando analisado a nível CODEVASF e a cooperativa de arroz na região. O arroz movimentava anualmente milhões de reais dentro do Estado de Sergipe, sendo o terceiro maior produto no Nordeste, apenas atrás do Maranhão e Piauí (IBGE, 2022).

Em estudos SAFA, os indicadores de resiliência econômica são relevantes para entender as relações das produções com os investimentos, e vulnerabilidades, associados aos preços praticados no mercado interno e sua revenda externa.

Os resultados obtidos por Colombo (2017) para o arroz no sul do Brasil apresentam um baixo nível de sustentabilidade para o tema, configurando como moderado, justificado pela dificuldade em se obter investimentos nas produções e da estabilidade na demanda e oferta, para a região, estando o produto final prejudicado pela falta de acompanhamento no desenvolvimento do cultivo, ficando a cargo do beneficiador em suas análises posteriores.

O sistema produtivo do fumo possui grande importância na região sul e conta com uma grande rede de comercialização, porém segundo os indicadores SAFA aplicados para o tema por Oliveira et al., (2023), é uma atividade com grande investimento, demonstrando um bom nível de sustentabilidade, mas que possui alguns aspectos negativos em relação a prática de preços não fixos, mesmo possuindo um produto final de excelente qualidade, afetando diretamente os produtos locais, realidade bem parecida com a do arroz produzido mas que agora possui uma portaria para sua regularização.

Freitas (2023) realizou um estudo de caso em Ipê no Rio Grande do Sul, considerada a capital nacional da agricultura ecológica em seis propriedades, demonstrando que o nível de sustentabilidade é satisfatório, que a atividade gera renda para os agricultores locais e possui certificação de qualidade da produção, demonstrando que as atividades agroecológicas se encontram alinhadas aos indicadores SAFA com melhores resultados.

Ao comparar os níveis de sustentabilidade entre comunidades vulneráveis na Amazônia colombiana, Heredia et al., (2020) demonstra que os níveis de economia local são bons, baseados na agroecologia, diferentemente dos níveis de vulnerabilidade, que são categorizados como inaceitáveis juntamente como investimento que é nulo para a localidade. Ainda na região amazônica, Heredia et al., (2022) aplicou o SAFA, para quatro sistemas tradicionais de agricultura onde os indicadores econômicos se mostraram baixos, relacionado pelos autores

devido a entrada recente das localidades no mercado agrícola, agregando valor para um possível desenvolvimento regional.

No cultivo de cereais em um condado na Suécia, a vulnerabilidade se apresenta na capacidade de investimento e rentabilidade dos cultivos, com níveis limitantes e moderado contrastando com os bons resultados para autonomia e risco de produção (Rodriguez et al., 2021).

Ao quantificar os indicadores para a região do BSF, foi possível entender a dinâmica socioeconômica entre os rizicultores, cooperativa e órgão governamental, existindo o compromisso fiscal e a necessidade de equiparação dos níveis salariais através da aplicação da normativa em vigência.

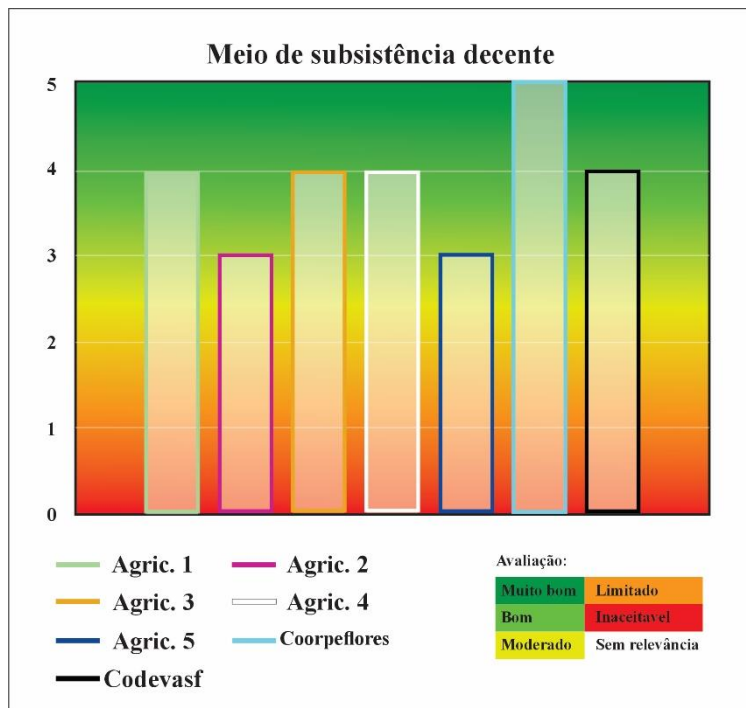
### 9.2.3 Indicadores de Bem-estar social

Para Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), publicado no Relatório de Brundtland (1987), a definição de sustentabilidade social está ancorada na satisfação das necessidades humanas básicas e a provisão do direito e liberdade para satisfazer suas próprias aspirações por uma vida melhor.

Dentro dos indicadores SAFA, o bem-estar é a última categoria de avaliação abrangendo diversos temas, neste estudo, foram analisados os meios de subsistência dignos (3); práticas comerciais justas (2); direitos trabalhistas (1); equidade (2) e saúde e segurança humana (1).

Para o indicador de meios de subsistências digno, foram analisados o nível salarial e o desenvolvimento de capacidades, estando os resultados apresentados na Figura 67.

Figura 67 - Valores comparativo para o indicador dos meios de subsistências decentes do cultivo de arroz na região BSF sergipano



Fonte: autor (2024)

Os níveis de sustentabilidade para o meio de subsistência decente, se encontram entre moderado, bom e muito bom. É válido destacar que, a qualidade de vida aqui abordada se refere apenas a jornada de trabalho em campo e as necessidades individuais de cada indivíduo entrevistado, seus níveis salariais e acesso justo aos meios de produção.

A terminologia de Qualidade de Vida é complexa, a conceituação apresentada pela OMS (1998), reflete a percepção dos indivíduos de que suas necessidades estão sendo satisfeitas ou que estão sendo negadas, dificultando o alcance da sua felicidade e auto realização, independentemente de seu estado de saúde físico ou das suas condições sociais e econômicas.

Quando questionados se todos os agricultores possuem tempo para família e descanso, 100% dos entrevistados disseram que sim, a jornada de trabalho diária permite que eles tenham tempo para outras atividades, além da agricultura devido as fases do cultivo de arroz, monitorando o desenvolvimento do cultivo, mas não necessitando de passar o dia todo no campo. Para CODEVASF e cooperativa, os níveis de sustentabilidade também são bons, todos os empregados possuem uma jornada de trabalho compatíveis com suas atribuições, possuindo tempo para lazer sem afetar sua produtividade.

O acesso aos meios de produção é uma barreira devido à dificuldade de obter crédito para o desenvolvimento da atividade por parte de alguns rizicultores, que viabilizariam uma melhor qualidade de vida e de suas condições socioeconômicas.

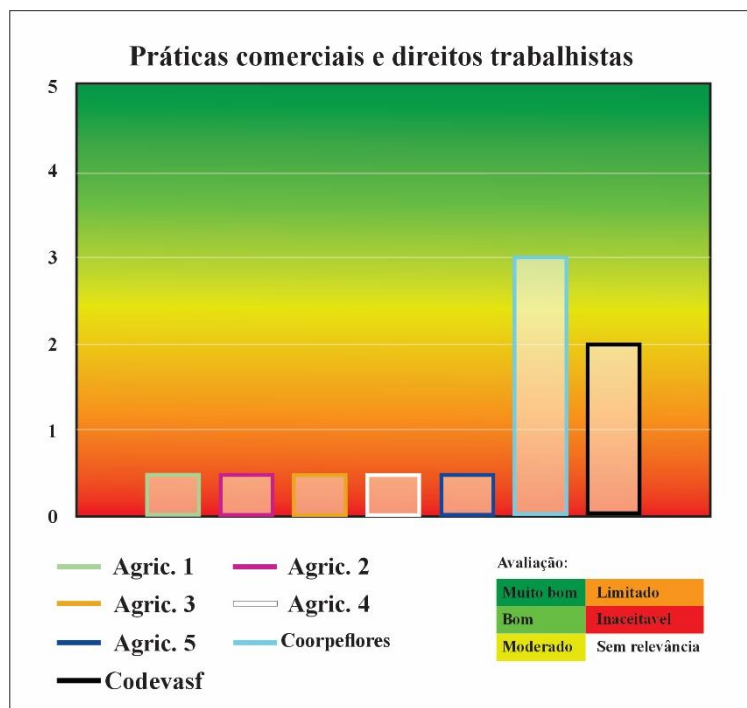
As inferências realizadas para este indicador não possui grande abrangência dentro do sistema SAFA, se tornando uma análise superficial para a realidade local, necessitando da aplicação de estudos apenas voltados a esta temática para melhor discussão.

Nesta perspectiva, Andrade (2016), demonstrou que o índice de qualidade de vida para o município de Brejo Grande é insuficiente, quando comparados ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDHM, baseado no Programa de Desenvolvimento das Nações Unidas – PDNU, devido ao grande potencial natural existente na região. Para Nhampossa (2015) é necessárias propostas que visem melhorar a qualidade de vida dos agricultores do perímetro irrigado Betume, através do aumento da renda e do nível de escolaridade, demonstrados críticos em sua avaliação.

O nível salarial avaliado, se orienta a partir do ganho de pelo menos um salário mínimo pelos agricultores, diretamente ligados a atividade na região e seu acesso justo aos meios de produção, todos os entrevistados responderam que atualmente sua renda consiste em mais de um salário mínimo, devido à valorização do preço do arroz nas últimas safras, realidade diferente de estudos realizados anteriormente na região, onde majoritariamente a renda na região era até um salário mínimo, chegando a dois ou três quando ocorria o desenvolvimento de outras atividades em paralelo ao cultivo de arroz, por Souza, 2020; Brandão, 2020; Andrade, 2016; Nhampossa, 2015.

Os indicadores para práticas comerciais justas e direitos trabalhistas, permitem que os agricultores, tenham acesso aos mercados onde os preços justos são negociados, estáveis, baseados em custos reais com acordo válidos, perante a lei e dos direitos trabalhistas dos seus funcionários (FAO, 2013). Aqui foi trabalhado o subtema do preço justo e contratos transparentes, direitos dos fornecedores para as práticas comerciais e relações trabalhistas para o indicador de direitos, apresentados os níveis na Figura 68.

Figura 68 - Valores comparativo para o indicador das práticas comerciais e direitos trabalhistas na região do BSF.



Fonte: autor (2024)

Os níveis de sustentabilidade para ambos indicadores se encontram inaceitável a nível dos rizicultores. Para as práticas comerciais de preços justos, contratos transparentes e direitos dos fornecedores, se destacam a CODEVASF e a cooperativa na qual os compradores possuem políticas internas e buscam fechar contratos a preço justos para os rizicultores locais, especialmente aqueles associados. Já citado anteriormente sobre o indicador de vulnerabilidade, atualmente deve ser seguida a portaria Nº 452 de 4 de julho de 2022, visando a padronização nacional do valor da saca de arroz nos anos de 2022/23, esta normativa também contribui para melhora da qualidade de vida do agricultor no campo, elevando seus ganhos.

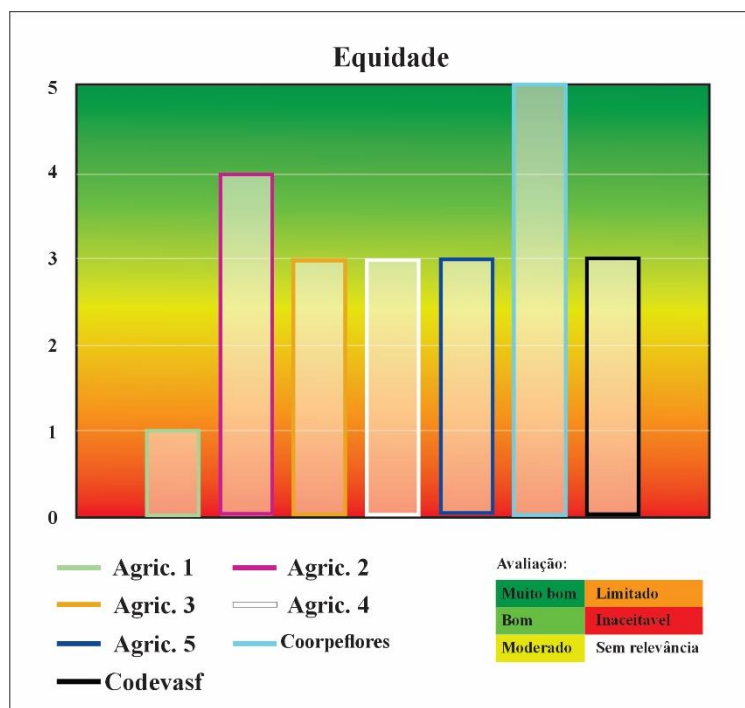
Para os direitos trabalhistas, os valores refletem a falta de acordos escritos, entre os produtores dos lotes e seus empregados de acordo com os tratados nacionais, incluindo a previdência social. Já a CODEVASF possui dentro da sua missão o pagamento dos direitos trabalhistas perante a lei, assim como a cooperativa, dentro do indicador, estes resultados se mostraram moderados e limitados, devido estarem de acordo com os direitos trabalhistas dos rizicultores.

O próximo tema a ser discutido é de equidade, definido pela FAO (2013), como o envolvimento do grau de justiça, divisão dos recursos disponíveis, oportunidades oferecidas e

decisões tomadas, possuindo os seguintes subtemas: não discriminação, igualdade de gênero e apoio a pessoas vulneráveis.

Este estudo baseou-se na aplicação do subtema de igualdade de gênero e apoio a pessoas vulneráveis, estando os resultados apresentados na Figura 69.

Figura 69 - Valores comparativo para o indicador de equidade do cultivo de arroz na região BSF sergipano



Fonte: autor (2024)

Os níveis de sustentabilidade de equidade foram de moderado, para bom e muito bom. Esta avaliação é considerada positiva para a região do BSF, destacando a divisão de tarefas no desenvolvimento das atividades e o apoio a pessoa vulneráveis, através de ações pontuais realizada pela cooperativa e CODEVASF.

A normatização na distribuição das tarefas no espaço rural está bem presente na região do BSF, para o cultivo do arroz, representando o gênero feminino cerca de 15% dos agricultores na região (Silva, 2020).

Segundo Silva et al., (2020), estas relações de gênero demonstram o entendimento dos agricultores sobre a divisão sexual do trabalho e a diferenciação de espaços, sendo o sexo feminino interno ou doméstico/reprodutivo e o masculino externo ou produtivo, cabendo as mulheres rurais as tarefas de cuidados da família.

Esta realidade vem passando por mudanças ao longo dos anos, estatisticamente a participação da mulher no campo ainda é pequena mas vem aumentando. Em 2006 o Brasil

possuía 3.475 estabelecimentos de cultivo de arroz dirigidos por mulheres, representando 8,4% da produção, com um aumento progressivo para 5.470 em 2017, representando 16% de toda produção nacional (IBGE, 2017).

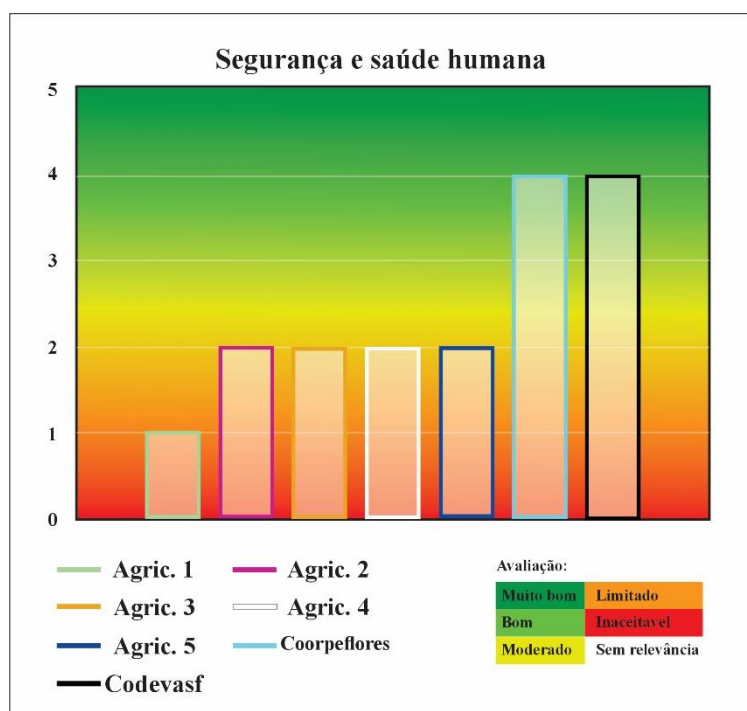
Segundo Siliprandi e Cintrão (2015), o reconhecimento insuficiente das mulheres no meio rural origina-se de dois fatores principais. Primeiramente, a necessidade de reconhecer que as mulheres também são produtoras rurais e potenciais beneficiárias de programas e políticas governamentais, independentemente de seus vínculos familiares, e em segundo lugar, a demanda por tipos de políticas, além das exclusivamente produtivas, integrando na agenda pública questões relacionadas ao bem-estar em diversas esferas, o que pode influenciar diretamente a orientação das políticas rurais.

Ações de apoio a pessoas vulneráveis, são realizadas pontualmente na região, a exemplo de doações feitas pela CODEVASF para as prefeituras em Sergipe, como caminhões pipas para distribuição de água em locais com déficit hídrico, equipamentos de pescas para o desenvolvimento da aquicultura, de maquinário para a agricultura, dentre outros. A cooperativa realiza ações pontuais de distribuição de alimento na comunidade.

Por fim, o ultimo tema é de segurança e saúde humana, que versa sobre a promoção e manutenção do mais alto grau de bem-estar dos trabalhadores (FAO, 2013), incluindo os seguintes subtemas: Disposições de segurança e saúde no trabalho para funcionários e saúde pública.

Este estudo aplicou apenas o indicador de segurança do local de trabalho, operações e instalações, estando os resultados apresentados na Figura 70.

Figura 70 - Valores comparativo para o indicador de segurança e saúde humana do cultivo de arroz na região BSF sergipano



Fonte: autor (2024)

Os níveis de sustentabilidade de segurança e saúde humana, foram de limitado para os agricultores e bom para a COODEVASF e cooperativa (Figura 70). Esta avaliação para a região, necessita de um trabalho voltado aos lotes de desenvolvimento de arroz, identificando as fragilidades para propor mudanças.

Figura 71 - Ambiente interno da cooperativa (a) descarte irregular de resíduos em campo (b).



Fonte: autor (2024).

Este indicador tem como intuito verificar se o local de trabalho é seguro, limpo e saudável para todos os agentes que possuem ligação direta com estes ambientes, assim como, se segue as normas de segurança. Por se tratar de empresas e possuir um ambiente controlado, a cooperativa e o órgão se destacam dentro da avaliação. Para os agricultores, foi possível visualizar em idas a campo a falta de locais para descanso e resíduos acumulados dentro dos lotes, caracterizando perigo a saúde humana e conseqüentemente a segurança da atividade.

Outra discussão importante é o uso de EPI's, não abordadas dentro deste indicador, mas fator importante para aplicação dos agroquímicos na região. Metade dos agricultores locais citam o uso dos EPI's devido a multa por não uso, citando a dificuldade de locomoção devido a plantação ser alagada. Souza (2020) em seus resultados para o arroz agroecológico cita estas dificuldades na região, demonstrando que a aplicação por parte dos rizicultores muitas vezes é realizada de maneira inadequada.

Para este indicador, Colombo (2017) obteve níveis de sustentabilidade bons, se destacando os direitos trabalhistas, práticas comerciais e equidade. Estes resultados se assemelham aos encontrados aqui para os meios de subsistência, possuindo os agricultores condições para qualidade de vida decente, mas que necessita do desenvolvimento de outras áreas que contribuem no desenvolvimento pessoal.

No trabalho de Blockeel et al., (2023), o subtema que se destaca é a capacidade de desenvolvimento pessoal, no estudo de Rodriguez et al., (2021), o bem-estar é ameaçado com os riscos para a saúde humana no desenvolvimento da atividade e na gratificação por trabalho, ofertado ou não pelos empregadores. A gratificação existe dentro da atividade da rizicultura no BSF, na qual os operários “recebem a gratificação” de acordo com a produtividade do lote, mas não são todos que realizam esta prática.

Para o cultivo do tabaco, realizado por Oliveira et al., (2023), esta dimensão possui um bom nível de avaliação, assim como, acontece na região de desenvolvimento deste estudo, a realização das atividades nas lavouras é feita pelo dono do lote, porém quando necessita de contratar, é priorizado a contratação de pessoas da comunidade, contribuindo com a economia local. No equador para diferentes sistemas de cultivos da banana, os níveis de sustentabilidade para o tema de bem-estar levantado por Bonisoli (2019) são bons para todos os indicadores.

As limitações apresentas neste estudo está na análise de temas específicos que envolve outros fatores, a exemplo da economia local que é movimentada pela rizicultura, com grande incremento da carcinicultura e o cultivo de coqueiro na região.

**CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A sustentabilidade dos sistemas agroindustriais está intrinsecamente ligada ao consumo eficiente e responsável dos recursos naturais, em especial a água, sendo este um recurso vital para produção agrícola e industrial. As práticas sustentáveis incluem o desenvolvimento e implementação de tecnologias que garantam a longevidade das atividades, aqui demonstrados através de ferramentas para quantificação ambiental, assim como o uso de indicadores para encontrar o nível de sustentabilidade agrícola, sendo esta crucial no monitoramento e na avaliação de impactos socioambientais e econômico através dos dados encontrados, contribuindo na promoção de melhorias contínuas e na adoção de práticas mais sustentáveis, facilitando a transparência e a responsabilidade social e ambiental em empreendimentos com ligação direta ao cultivo e beneficiamento do arroz do baixo São Francisco sergipano.

A agroindústria do arroz no baixo São Francisco, no Estado de Sergipe, possui um funcionamento de acordo com as normas e leis vigentes a nível estadual e de Brasil, demonstrando alinhamento no que tange as práticas de beneficiamento do grão do arroz produzido na região, com boa qualidade seguindo padrões para o tipo II e III beneficiado, contanto com as etapas de verificação bem delineadas de acordo com os objetivos da agroindústria, sendo um importante motor na geração de renda na localidade, necessitando de melhoria em dois pontos importantes identificados. O primeiro, no local de armazenamento do grão recebido, onde se faz necessária a instalação de uma rede de contenção para evitar que roedores e outros animais tenham acesso ao arroz (em casca), evitando prejuízos ao proprietário e garantindo a segurança alimentar, mesmo que posteriormente o grão de arroz passe por etapas que a garantam. O segundo ponto está associado a práticas voltadas a sustentabilidade e a geração de resíduos no beneficiamento do grão, devido ao grande volume beneficiado, e consequentemente a grande geração de resíduos, sendo indicado a inserção de SGA para geração de relatórios de sustentabilidade, assim como, se possível, a adoção do Programa de Produção Mais Limpa (P+L) e inclusão do conceito de economia circular, já praticada em partes devido ao grande aproveitamento dos subprodutos do arroz, a exemplo da farinha utilizada como ração e da palha como cama de gados e aves.

A contabilização da PH do processo de beneficiamento da rizicultura no baixo São Francisco foi fundamental para compreender a eficiência de processos de beneficiamento da única Usina de beneficiamento em atividade na margem sergipana, além do fornecimento de dados importantes para o ajuste de técnicas que possam contribuir na otimização da produção a nível de recursos hídricos consumido. O passo a passo da metodologia utilizada foi de acordo com o manual de avaliação da PH, proposta por Hoekstra et al., (2011) e que possui diferenças com as normas da ABNT ISO 14046 (2017) para aplicação da PH. Nos resultados obtidos é

nítido que a etapa de beneficiamento do arroz não necessita de grande demanda de água na região, isto se dá pela propriedade não realizar a parboilização do grão, etapa que necessita de grande volume de água. Mesmo não demandando de grande quantidade, a PH<sub>cinza</sub> possui maior contribuição no processo total, demonstrando o potencial poluidor do sistema, já que quanto maior for o consumo de água azul, maior é a geração de água cinza, com grande contribuição dos químicos utilizados na fase de cultivo. A PH do produto foi contabilizada para a quantidade total beneficiada, com valor dentro das médias encontradas na literatura por tonelada.

Diante dos valores encontrados, e seguindo o segundo ponto levantado no segundo parágrafo desta conclusão, é importante que a propriedade possua contadores individuais para compreensão das etapas que mais demanda água durante a produção, assim como, facilitar a identificação de possíveis vazamentos, sendo esta uma prática sustentável da água, beneficiando o proprietário a partir da redução do consumo, afetando diretamente o valor pago. Estes ajustes apropriados são essenciais para conhecer o consumo real de cada etapa, como também para manter os padrões de qualidade do produto, garantindo a competitividade do produto no mercado do arroz.

Na etapa de aplicação da ACV destaca-se a elaboração do ICV, do campo à agroindústria e o grande quantitativo de entradas e saídas levantadas neste estudo, com ênfase na grande demanda de diesel nas etapas da produção do grão e do beneficiamento, atribuídos ao uso em quantidade de maquinários até o arroz se encontrar pronto para venda nas prateleiras dos supermercados espalhados ao longo do Estado de Sergipe, merece destaque também a captação de água e o uso de fertilizantes, herbicidas e agroquímicos. Com esta abordagem holística foi possível identificar em quais etapas do sistema total do arroz possui o maior perfil de potencial poluidor e diante o aprofundamento em estudiosos da área, contribuir para a promoção de uma cadeia produtiva mais sustentável.

Na etapa de AICV a partir da metodologia de ACV, destacou-se três categorias com maior contribuição de impacto ambiental para ambas etapas estudadas, sendo estas, o potencial de aquecimento global, a toxicidade humana e a ecotoxicidade de água doce. Os resultados evidenciaram a necessidade de práticas agrícolas e industriais mais sustentáveis, conhecendo a realidade da região não é possível a retirada de imediato dos produtos químicos utilizados no cultivo, mas se faz necessário melhorar a orientação para minimização, assim como, o uso de fonte de energia renováveis, a exemplo do aproveitamento da casca do arroz para geração de energia na caldeira. Outra prática que contribuiria para minimização de emissões é a redução no consumo de diesel, porém está necessita de estudos mais aprofundados para entender a dinâmica dos equipamentos utilizados e as possíveis melhorias, relacionadas ao tempo de uso

ou adaptações. Todas as medidas citadas anteriormente não apenas contribuem para a conversação ambiental, como também pode resultar em benefícios econômicos a longo prazo através da redução de custos operacionais para os agricultores, e em melhoria ambiental da agroindústria envolvida.

Por fim, a aplicação dos indicadores SAFA para a atividade de arroz no baixo São Francisco permitiu uma compreensão abrangente da realidade local, envolvendo diretamente os agricultores e órgão responsáveis pela gestão e governança. Os resultados indicaram a insustentabilidade da atividade na região, com potenciais impactos sobre os lotes irrigáveis caso as práticas agrícolas atuais não sejam revistas, sendo importante a adoção de práticas sustentáveis para assegurar a longevidade da atividade. Os rizicultores reconhecem a importância dos recursos hídricos e do solo para o cultivo do arroz, mas falta ações que promovam seu uso sustentável, podendo os órgãos de fiscalização governamental implementar por meio de orientações direcionadas aos irrigantes.

Os indicadores de governança mostraram-se positivos, destacando-se a participação dos irrigantes nas decisões tomadas pelos órgãos entrevistados, além da visão favorável sobre qualidade de vida e preços comerciais praticados na região. A análise revelou a importância do fortalecimento de programas que facilitem o acesso ao crédito para rizicultores, possibilitando investimentos nos lotes e mitigando as vulnerabilidades, a exemplo da prática dos “atravessadores”, que impõem preço abaixo do mercado, gerando prejuízos e sensação de impotência nos agricultores que dependem da atividade para sua subsistência, como também a promoção da equidade de gênero no campo, garantia de segurança alimentar e o aumento da resiliência socioeconômica da comunidade em geral.

Em conclusão, este trabalho proporcionou uma visão integrada da agroindústria do arroz no baixo São Francisco através da contabilização da PH do beneficiamento, assim como da aplicação da ACV e dos indicadores SAFA. Foi possível identificar práticas e políticas que podem ser implementadas na promoção da sustentabilidade e eficiência desta cadeia produtiva, sendo a adoção por práticas agrícolas e industriais sustentáveis a principal recomendação a partir dos resultados analisados.

Para estudos futuros, recomenda-se a aplicação da ACV e dos indicadores SAFA na carcinicultura da região, que é a principal atividade após o cultivo de arroz e apresenta impactos socioambientais significativos, com objetivo de uma compreensão abrangente do desenvolvimento sustentável da carcinicultura para fortalecimento de políticas públicas e melhorias na renda per capita da região de maneira geral.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA, **Panorama do Enquadramento dos Corpos d'água no Brasil**. Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA, **Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água**. Cadernos de Capacitação em Recursos Hídricos n. 5. Brasília: ANA, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Regiões Hidrográficas brasi-leiras - Edição Especial**. Brasília: ANA, 2015.

AHMAD, A.; ZOLI, M.; LATELLA, C.; BACENETTI, J. Rice cultivation and processing: Highlights from a life cycle thinking perspective. **Science of The Total Environment**, 871, 162079, 2023.

ALDAYA, M. M.; MUÑOZ, G.; HOEKSTRA, A. Y. **Water footprint of cotton, wheat and rice production in Central Asia**. UNESCO-IHE, 2010.

ALFARO FLORES, Y.M. Determinación de la huella hídrica para la producción de Cola Industrial en Arequipa. **Tesis** (Bachiller em Ingeniería Ambiental) - Universidade Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú, 2018.

ALI, A. O. Examining the water footprint concept in relation to sustainable water management. **PhD dissertation**, Sheffield Hallam University, Libya, 2019.

ALLAN, J. A. Virtual water: a strategic resource. **Ground water**, v. 36, n. 4, p. 545-547, 1998.

ALMEIDA, G. L. Conflitos territoriais e potencialidades socioambientais em comunidades quilombolas de Brejo Grande/SE. 2019. 175 f. **Dissertação** (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2019.

ALMEIDA, G. L. Conflitos territoriais e potencialidades socioambientais em comunidades quilombolas de Brejo Grande/SE. **Dissertação** (mestrado em desenvolvimento e meio ambiente). Universidade Federal de Sergipe – UFS. São Cristóvão – SE, 2019.

ALVES, E. K. S.; VILLWOCK, A. P. S., QUEROL, M. A. P.; FOSSÁ, J. L. Impactos da COVID-19 nos preços e na produção agropecuária Sergipana. **Revista Política e Planejamento Regional**, v.10, n. 1, p.52-70, Rio de Janeiro, RJ, 2023.

ALVES, N. M. S. ET. AL. Mudanças no cotidiano das Comunidades Tradicionais Pesqueiras de Brejo Grande –Sergipe, Brasil. **Revista GeoNordeste**, São Cristóvão, Ano XXVIII, n. 1, p. 187-202, 2017.

AMARANTE, E. B.; SCHULZ, R. K.; ROMERO, O. R.; UNDAY, Z. G.; BASTIDA, E. L.; HERNÁNDEZ, L. P. G. Life cycle assessment of the valorization of rice straw for energy purposes. Rice production in Cuba. **Journal of agriculture and environment for international development**, 112(2), 297-320, 2018.

AMIRAHMADI, E.; MOUDRÝ, J.; KONVALINA, P.; HÖRTENHUBER, S. J.; GHORBANI, M.; NEUGSCHWANDTNER, R. W.; KOPECKÝ, M. Environmental Life Cycle Assessment in Organic and Conventional Rice Farming Systems: Using a Cradle to Farm Gate Approach. *Sustainability*, 14(23), 15870, 2022.

ANA. **Água na Indústria: Uso e coeficientes técnicos**. Agência Nacional de Águas. Brasília, 2017.

ANDRADE, C. B.; Diagnostico da rizicultura na foz do rio São Francisco sob a perspectiva de um modelo sustentável de gestão. 159f. **Tese de Doutorado** (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe, 2016.

ANDRADE, I. C. B., SOUZA, I. S., SOUZA, R. R., FACCIOLI, G. G. Gestão ambiental ISO 14001 nas indústrias sucroalcooleiras em Sergipe. **Interfaces Científicas-Exatas e Tecnológicas**, 2(2), 71-82, 2016.

ANTUNES, M. C. S. Desenvolvimento Sustentável e Sustentabilidade: Evolução epistemológica na necessária diferenciação entre os conceitos. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 3, n. 2, p. 17-35, 2017.

ARAGÃO ZAMBRANA, A.; TEIXEIRA, R. M. Governança e suas implicações na promoção da cooperação em APLs: evidências em Sergipe. **Revista Organizações em Contexto**, v. 12, n. 23, p. 1-41, 2016.

ARAGÃO-ZAMBRANA, A.; TEIXEIRA, R. M. Governança e suas implicações na promoção da cooperação em APLs: evidências em Sergipe. **Revista Organizações em Contexto**, v. 12, n. 23, p. 1-41, 2016.

ARÉVALO, D.; LOZANO, J.; SABOGAL, J. Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola. **Revista Internacional de sostenibilidad, tecnología y humanismo**, n. 6, p. 101-126, 2011.

ARIYARATHNA, S.; SIRIWARDHANA, H. P. D. S. N; DANTHUREBANDARA, M. Life cycle assessment of rice processing in Sri Lanka: Modern and conventional processing. In: **Moratuwa Engineering Research Conference (MERCon)**. p. 297-302, 2016.

ARRICIBITA, S. M.; Análisis del ciclo de vida (ACV) de una cerveza artesanal. **Trabajo de fin de grado em ciências ambientais**, Universidad del País Vasco. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT ISO 14044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14001: Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário: Referências**. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário: Referências**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14046: Gestão Ambiental – Pegada Hídrica – Princípios, requisitos e diretrizes**. Rio de Janeiro, 2017.

ASWIN, S. N.; ASBEN, A.; NAZIR, N. Life Cycle Assessment of the Solok Rice Production System in the Gunung Talang District, Solok Regency, West Sumatra. **Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment**, 160-169, 2023.

BACCARIN, J. G.; OLIVEIRA, J. A. Inflação de alimentos no Brasil em período da pandemia da Covid 19, continuidade e mudanças. **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, SP, v. 28, n. 00, p. e021002, 2021. DOI: 10.20396/san.v28i00.8661127. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/san/article/view/8661127>. Acesso em: 20 abr. 2024.

BACON, F. **Novum organum ou verdadeiras indicações acerca da interpretação da natureza**. Virtual books, 2003.

BAŁDOWSKA-WITOS, P.; PIASECKA, I.; FLIZIKOWSKI, J.; TOMPOROWSKI, A.; IDZIKOWSKI, A.; ZAWADA, M. Life Cycle Assessment of Two Alternative Plastics for Bottle Production. **Materials**, 14(16), 4552. 2021.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, modelos e instrumentos**. 4. ed. Editora Saraiva, São Paulo - 2016.

BARBIERI, J. C.; SILVA, D. Desenvolvimento sustentável e educação ambiental: uma trajetória comum com muitos desafios. **RAM, Rev. Adm. Mackenzie (Online)**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 51-82, jun. 2011. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1678-69712011000300004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1678-69712011000300004&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em: 26 abr. 2020.

BARROS, A. C. V. O ser humano globalizado e a sua relação com a natureza: a pauta do desenvolvimento sustentável e o estabelecimento da bioeconomia. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 38147-38161, 2020.

BARROS, M. K. L. V.; BARROS, H. M. M.; PÁDUA SOUZA, L.; CHICÓ, L. R.; BAROSI, K. X. L. Água: escassez, crise e perspectivas para 2050. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 10(5), 4, 2015.

BARSANO, P. R.; BARBOSA, R. P. **Gestão ambiental**. Editora Érica, São Paulo, 2014.

BARTZAS, Georgios; KOMNITSAS, Kostas. Life cycle analysis of pistachio production in Greece. **Science of the Total Environment**, v. 595, p. 13-24, 2017.

BASSETTO, L. I. A incorporação da responsabilidade social e sustentabilidade: um estudo baseado no relatório de gestão 2005 da companhia paranaense de energia-COPEL. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 3, p. 639-651, 2010.

BECK, U. **O que é globalização**. Tradução de André Carone. São Paulo: Paz e Terra, 1999.

BLENGINI, G. A.; BUSTO, M. The life cycle of rice: LCA of alternative agri-food chain management systems in Vercelli (Italy). **Journal of environmental management**, v. 90, n. 3, p. 1512-1522, 2009.

BLENINGER, T; KOTSUKA, K. L.; Conceitos de Água Virtual e Pegada Hídrica: estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil. **Recursos Hídricos**, v. 36, n. 1, 2015.

BLOCKEEL, J.; SCHADER, C.; HEIDENREICH, A.; GROVERMANN, C.; KADZERE, I.; EGYIR, I. S.; STOLZE, M. Do organic farming initiatives in Sub-Saharan Africa improve the sustainability of smallholder farmers? Evidence from five case studies in Ghana and Kenya. **Journal of Rural Studies**, 98, 34-58, 2023.

BOMFIM, J. M. F.; Pegada hídrica e desempenho econômico da cultura do coentro (*Coriandrum sativum* L.) no agreste sergipano. 80f. **Dissertação** (Mestrado e Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão/SE, 2017.

BONAN, A. M.; Bencke, F. F.; Junior, S. S.; Breitenbach, R. A importância percebida do código de ética em uma cooperativa agroindustrial de grande porte. **Revista Gestão Organizacional**, v. 11, n. 1, 2018.

BONATTO, R. A. Subsídios à adoção de Sistemas Integrados de Produção Agropecuária (SIPA) como mecanismo promotor do desenvolvimento rural sustentável. 120f. **Tese** (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, 2018.

BONISOLI, L.; GALDEANO-GÓMEZ, E.; PIEDRA-MUNÓZ, L.; PÉREZ-MESA, J. C. Benchmarking agri-food sustainability certifications: Evidences from applying SAFA in the Ecuadorian banana agri-system. **Journal of Cleaner Production**, v. 236, p. 117579, 2019.

BRANDÃO, C. R. P; Contabilização da pegada hídrica azul, verde e cinza da rizicultura no perímetro irrigado Betume/SE. 128f. **Dissertação** (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 2020.

BRANDÃO, C. R. P; SOUSA, I. F.; MÉLO SILVA, I. S.; **Cartilha da Pegada Hídrica na rizicultura e o uso de defensivos agrícolas**. -1. Ed. Editora Criação. Aracaju – SE, 2020.

BRASIL. **Lei Nº 9.782, de 26 de janeiro de 1999**. Define o Sistema Nacional de Vigilância Sanitária, cria a Agência Nacional de Vigilância Sanitária, e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1999.

BRASIL. Ministério da Casa Civil. **Lei complementar Nº 123, de 14 de dezembro de 2006**. Institui o Estatuto Nacional da Microempresa e da Empresa de Pequeno Porte; altera dispositivos das Leis no 8.212 e 8.213, ambas de 24 de julho de 1991, da Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-Lei no 5.452, de 1º de maio de 1943, da Lei no 10.189, de 14 de fevereiro de 2001, da Lei Complementar no 63, de 11 de janeiro de 1990; e revoga as Leis no 9.317, de 5 de dezembro de 1996, e 9.841, de 5 de outubro de 1999. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/lcp/lcp123.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp123.htm). Acesso em: 02 fev. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução nº 216, de 15 de setembro de 2004**. Dispõe sobre Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviço de Alimentação. Disponível em:

[https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216\\_15\\_09\\_2004.html](https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html). Acesso em: 01 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 6, de 06 de fevereiro de 2009**. Aprova o Regulamento Técnico do Arroz, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem e revoga os normativos que menciona. Disponível em: <https://www.diariodasleis.com.br/legislacao/federal/210181-regulamento-tucnico-do-arroz-aprova-o-regula>. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 2, de 07 de fevereiro de 2012**. Altera incisos da Instrução Normativa nº 6 de 2009. Disponível em: <https://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&cha>. Acesso em: 05 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Estado da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 9, de 02 de julho de 2005**. Normas para produção, comercialização e utilização de sementes. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=76073>. Acesso em: 02 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 357, de 17/03/2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 430, de 13/05/2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1994**. Dispõe sobre os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental e no exercício da competência, bem como as atividades e empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0237-191297.PDF>. Acesso em: 24 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l6938.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm). Acesso em: 17 fev. 2024.

BRITO, T., FRAGOSO, R., SANTOS, L., MARTINS, J. A., FERNANDES SILVA, A. A., & ARANHA, J. Life cycle assessment for soybean supply chain: a case study of state of Pará, Brazil. *Agronomy*, 13(6), 1648, 2023.

- BRITTO, F. B., SILVA, T. M. M., VASCO, A. N. D., AGUIAR NETTO, A. D. O.; CARVALHO, C. M. D. Impactos da produção do arroz inundado na qualidade da água do Rio Betume, Sergipe, **Revista Agrotec**, v. 37, n. 01, p. 44-54, João Pessoa – PB, 2016.
- BRITTO, F. B.; Monitoramento e modelagem da qualidade da água e agrotóxicos em corpos hídricos no Baixo São Francisco sergipano. **Tese** (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, 2015.
- BRITTO, F. B.; SILVA, T. M. M.; VASCO, A. N. D.; AGUIAR NETTO, A. D. O.; CARVALHO, C. M. D. Impactos da produção do arroz inundado na qualidade da água do Rio Betume, Sergipe. **Agropecuária Técnica**, 37(1), 44–54, 2016.
- CALENTE, T. J. N.; OLIVEIRA, P. R.; VALLEJO, N. M. Análise da qualidade da água do córrego Jaçanã no Município de Alvorada d’oeste no Estado de Rondônia. **South American Journal of Basic Education, Technical and Technological** , 2020.
- CALLAWAY, E. NEWS IN FOCUS. **Nature**, v. 531, 2016.
- CALVACANTI, C. **Desenvolvimento e natureza: estudos para uma sociedade sustentável**. São Paulo: Cortez; Recife, PE: Fundação Joaquim Nabuco, 1995.
- CAMMARATA, M.; TIMPANARO, G.; SCUDERI, A.. Assessing sustainability of organic livestock farming in Sicily: A case study using the Fao Safa framework. **Agriculture**, v. 11, n. 3, p. 274, 2021.
- CAMPOS; N. STUDART, T. Políticas das águas. In: **Gestão das águas: princípios e práticas**. Porto Alegre. ABRH, 2003.
- CARMO, R. L. Água virtual, escassez e gestão: o Brasil como grande " exportador" de água. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 2, p. 83-96, 2007.
- CARVALHO, D. M.; COSTA, J. E. O Pronaf e a inserção técnico-produtiva nas unidades familiares de Sergipe. **Revista Grifos**, v. 30, n. 51, p. 350-377, 2021.
- CASTRO, C. N.; PEREIRA, C. N. Revitalização do rio São Francisco. Boletim Regional, Urbano e Ambiental, **IPEA**, v. 17, p. 69-76, 2017.
- CASTRO, E. M.; VIEIRA, N. R. A.; RABELO, R. R.; SILVA, S. A. Qualidade de grãos em arroz. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás. 30p. 1999.
- CAVALCANTI, C. Sustentabilidade da Economia: paradigmas alternativos de realização econômica. In: **CAVALCANTI, C. (Org.). Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável**. INPSO/FUNDAJ, Instituto de Pesquisas Sociais, Fundação Joaquim Nabuco, Ministério de Educação, Governo Federal, Recife, Brasil. Outubro, 1994.
- CBHSF, Comitê da Bacia Hidrográfica do. Rio São Francisco. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco 2016-2025**. Alagoas, 2016.
- CHAPAGAIN A.; K, HOEKSTRA. The green, blue and grey water footprint of rice from both a production and consumption perspective. **Value of Water Research Report Series No. 40**. UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2010.

CHAPAGAIN, A; TICKNER, D. Pegada Hídrica: evolução do conceito e sua utilidade na prática. In: EMPINOTI, V; JACOBI, P. R. (Org.). **Pegada Hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. São Paulo: Annablume, 2012.

CHEN, Y.; LIU, C.; CHEN, J.; HU, N.; ZHU, L. Evaluation on environmental consequences and sustainability of three rice-based rotation systems in Quanjiao, China by an integrated analysis of life cycle, energy and economic assessment. **Journal of Cleaner Production**, 310, 127493, 2021.

CIDREIRA-NETO, I. R. G; RODRIGUES, G. G. Relação homem-natureza e os limites para o desenvolvimento sustentável. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, v. 6, n. 2, p. 142-156, 2017.

CIRNE, G. M. P. Análise da estimativa da pegada hídrica total: um estudo de caso de uma indústria de sovetes localizada no sertão paraibano. **Dissertação** (mestrado em Sistemas Agroindustriais), Universidade Federal de Campina Grande, 2018.

CIROTH, A. Software for Life Cycle Assessment. In: Curran, M. A. (Editor). **Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products**. Cincinnati, OH, USA: 2012.

CIROTH, A.; BURHAN, S. Life Cycle Inventory Data and Databases. **IN: Klöpffer, W.; CURRAN, M. A.; LCA Compendium – The Complete World of Life Cycle Assessment**. Springer Nature. Switzerland, 2021.

CODEVASF. **Diagnóstico ambiental dos perímetros irrigados da CODEVASAF**. 4ª Superintendência regional. 2005.

COELHO FILHO, O.; SACCARO JUNIOR, N. L.; LUEDEMANN, G. **A avaliação de ciclo de vida como ferramenta para a formulação de políticas públicas no Brasil**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Rio de Janeiro, 2016.

COLOMBO, T. C; Análise dos indicadores de sustentabilidade na produção de arroz irrigado no sul de Santa Catarina. 2017. 113f. **Dissertação** (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) – Universidade do extremo sul catarinense, 2017.

CONAB. **A cultura do arroz** / NETO, A. A. O. (Org.) – Brasília: Conab, 2015.

CORAL, E. Modelo de planejamento estratégico para a sustentabilidade empresarial. **Tese** (doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina – SC. 2002.

CORDEIRO, A. F. F. Avaliação da Pegada Hídrica de uma Empresa. **Dissertação de mestrado** (Mestrado integrado em Engenharia do Ambiente), Universidade do Porto, 2017.

CORRÊA FILHO, H.; PONTE, M. X.; SOARES, S. R. Avaliação do Ciclo de Vida da Farinha de Mandioca. **Espacios**, v. 38, n. 59, 2017.

COSTA, J. F., SANTOS, M. A. S., REBELLO, F. K., MARTINS, C. M., JARDINA, L. L.; SOUZA, C. C. F. Logística reversa de embalagens de agroquímicos no Brasil. **Atas de Saúde Ambiental ASA**, 7(1), 2019.

COSTA, M. C. F. Pegadas Hídrica e de Carbono, Aspectos Económicos, Sociais e Culturais de um Vinho de terroir. **Dissertação de mestrado** (Mestrado integrado em Engenharia Química), Universidade do Porto, 2017.

CRUZ, I.S.; ANDRADE, I.C.B. Gestão ambiental ISSO 14001 nas indústrias sucroalcooleiras em Sergipe. **Interfaces Científicas – Exatas e Tecnológicas**. v.2, n. 2, p. 71 – 82, out. 2016.

CURRAN, M. A.; Sourcing Life Cycle Inventory Data. In: Curran, M. A. (Editor). **Life Cycle Assessment Handbook: A Guide for Environmentally Sustainable Products**. Cincinnati, OH, USA: 2012.

DASTAN, S.; GHAREYAZIE, B. T. S., J. A.; PISHGAR-KOMLEH, S. H. Assessment of the life cycle of genetically modified and non-genetically modified rice cultivars. **Arabian Journal of Geosciences**, 13(10), 362, 2020.

DIAS, N. S.; SILVA, M. R. F., GHEYL, H. R.; **Recursos Hídricos: usos e manejos**. V. 1.ed. São Paulo: Livraria Física, 2011.

DINIZ, F. H.; BERNARDO, W. F.; RUSTICHELLI, S. T; MOREIRA, M. S. P. Fundamentos e perspectivas do desenvolvimento sustentável e do uso de indicadores de sustentabilidade em propriedades leiteiras. In: MARTINS, P. C.; PICCININI, G. A.; Krug, E. E. B.; MARTINS, C. E.; LOPES, F. C. F. (ORG.) **Sustentabilidade ambiental, social e econômica da cadeia produtiva do leite: desafios e perspectivas**. Brasília, DF: 2015.

DULLEY, R. D. Noção de natureza, ambiente, meio ambiente, recursos ambientais e recursos naturais. **Agricultura em São Paulo, São Paulo**, v. 51, n. 2, p. 15-26, 2004.

EIFERT, E. C.; SILVA, R. S.; ELIAS, M. M., FRANCO, D. F. Cultivo de arroz: beneficiamento. Embrapa, Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pos-producao/pos-colheita/beneficiamento>. Acesso em: 15 de jan de 2024.

ELLIOTT, H.; WRIGHT, T. **Barriers to sustainable universities and ways forward: A Canadian students' perspective**. In: The 3 rd World Sustainability Forum, Sciforum, Suíça, 2013

EMBRAPA. Arroz no baixo São Francisco: produção familiar em harmonia com a paisagem. **Embrapa Arroz e Feijão**, Goiás – GO, 2022.

EMDAGRO. Sondagem sobre impacto da COVID-19 na agricultura familiar do Estado de Sergipe. Governo de Sergipe, Aracaju – SE, 2022.

EMPINOTTI, V. L.; JACOBI, P. R.; Novas práticas de governança da água? O uso da pegada hídrica e a transformação das relações entre o setor privado, organizações ambientais e

agências internacionais de desenvolvimento. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 27, 2013.

EMPINOTTI, V. L.; TADEU, N. D.; MARTINS, R. S. L. Análise crítica da Pegada Hídrica Cinza na produção de celulose. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, p. 166-177, 2013.

EMPINOTTI, V. L.; WARNER, J. **A agricultura familiar no baixo São Francisco: Perfil socioprodutivo e segurança alimentar**. O Baixo São Francisco: Características Ambientais e Sociais. 1st ed. São Paulo: Annablume, 2012.

EMPINOTTI, V. L.; WARNER, J. Água Virtual e Pegada Hídrica: as contribuições e desafios que estes conceitos trouxeram na maneira como discutimos os recursos hídricos. **IN: EMPINOTTI, V.; JACOBI, P. R. (ORG.). Pegada Hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. 1st ed. São Paulo: Annablume, 2012.

ESCOBAR, N.; BAUTISTA, I.; PEÑA, N.; FENOLLOSA, M. L.; OSCA, J. M.; SANJUÁN, N. Life Cycle Thinking for the environmental and financial assessment of rice management systems in the Senegal River Valley. **Journal of Environmental Management**, 310, 114722, 2022.

ESTANTE, E. P. V.; DEMAPELIS, R. B.; MATANGUIHAN, A. E. D.; MAGADIA, B. T.; GOMEZ, C. C.; NUÑEZ, C. J. E.; JAMIESON, C. Life cycle assessment of conventional and low carbon rice production system in Victoria, Laguna, Philippines. **Phillippine Journal Of Crop Science**, 48, 41-53, 2023.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Qualidade do solo e meio ambiente. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás - GO, 2006.

FAO, 2011. Sustainability Assessment of Food and Agricultural Systems (SAFA). Background Document for the E-Forum held in February–March 2011. **Natural Resources Management and Environment Department, Food and Agricultural Organization of the United Nation**, Rome – Itália. Available from: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/sustainability/docs/Background\\_Document\\_02.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/sustainability/docs/Background_Document_02.pdf).

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Statistical data bases. Disponível em: Acessado em 05 junho 2021.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Statistical data bases, 2020.

FAO. Guidelines for Sustainability Assessment in Food and Agriculture. Natural resources management and environment departament, **FAO**, v. 2012, 2012.

FAO. SAFA sustainability assessment of food and agriculture systems smallholders app user manual version. **FAO**, 2014.

FARIA, G. H. O. Análise do modelo DPSIR para subsidiar o processo do Programa de Gestão Ambiental do INCT-APA. 113 f. **Dissertação** (Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental. Ecossistemas Aquáticos) - Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2011.

FERNÁNDEZ-CALVIÑO, D.; PÉREZ-NOVO, C.; ARIAS-ESTÉVEZ, M. Influence of phosphates on copper and zinc retention processes in acid soils. In: **Phosphate in Soils**. CRC Press, 2018. p. 56-75.

Ferreira, C. M. Rede Brasil Arroz: transferência de tecnologia valorizando o protagonismo e atribuições de parceiros na cadeia produtiva. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás - GO, 2014.

FIGUEIREDO, L. V. D. Sustentabilidade e produção mais limpa na agroindústria: avaliação e proposta de implementação em um laticínio do Sertão Paraibano. 55 f. **Dissertação** (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) - Universidade Federal de Campina Grande, Pombal – PB, 2020.

FIRMINO, L. Q. Avaliação de ciclo de vida no beneficiamento do arroz. 95 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Ambientais). Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, 2021.

FRAITURE, C.; MOLDEN, D.; WICHELNS, D. Investing in water for food, ecosystems, and livelihoods: An overview of the comprehensive assessment of water management in agriculture. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 4, p. 495-501, 2010.

FRANCO, D. F.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M.; COSTA, C. J.; SILVA, M. G. Colheita, secagem, beneficiamento e tratamento de sementes de arroz irrigado. **Embrapa Clima Temperado**, Pelotas – RS, 2013.

FREITAS, N. S. Avaliação da sustentabilidade agroflorestal—um estudo de caso em Ipê-a capital nacional da agricultura ecológica. 122 f. **Dissertação** (Mestrado em Administração). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2023.

FRIEDRICH, A. C. A rizicultura no município de agudo – RS: Uma análise a partir do conceito de rede geográfica. 128f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2010.

FRISCHKNECHT, R.; FANTKE, P.; TSCHÜMPERLIN, L.; NIERO, M.; ANTÓN, A.; BARE, J.; JOLLIET, O. Global guidance on environmental life cycle impact assessment indicators: progress and case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 21, 429-442, 2016.

FRISCHKNECHT, Rolf et al. Global guidance on environmental life cycle impact assessment indicators: progress and case study. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, p. 429-442, 2016.

FUENTES MORA, Génesis Nicole. La economía circular y la industria 4.0 como modelo de producción para aprovechar la biomasa urbana. **Tese de Doutorado** (Ingeniería Industrial). Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial, 2022.

- GADOTTI, G. I.; **Análise do Ciclo de Vida no beneficiamento do arroz em Pelotas/RS**. 2021. Disponível em: <https://institucional.ufpel.edu.br/projetos/id/u4358>. Acesso em: 10 set. 2022.
- GALBIATTI-SILVEIRA, P. Energia e mudanças climáticas: impactos socioambientais das hidrelétricas e diversificação da matriz energética brasileira. **Opinião Jurídica**, v. 17, n. 33, p. 123-147, 2018.
- GANTER, C. Water crises are a top global risk. **World Economic Forum**, 2015. Disponível em: < <https://www.weforum.org/agenda/2015/01/why-world-water-crises-are-a-top-global-risk>>. Acesso em: 05 de jun. de 2020.
- GARCIA, D. S. S.; GARCIA, H. S. Objetivos de Desenvolvimento do Milênio e as novas perspectivas do desenvolvimento sustentável pela Organização das Nações Unidas. **Revista da Faculdade de Direito da UFRGS, volume especial, (35)**, p. 192-206, 2016.
- GASSÓ-TORTAJADA, V. Assessing sustainability of agricultural systems: Balancing context specificity and generality. **Ph.D. thesis**. AARHUS University, Dinamarca, 2014.
- GENCHI, G., CAROCCI, A., LAURIA, G., SINICROPI, M. S., & CATALANO, A. Nickel: Human health and environmental toxicology. *International journal of environmental research and public health*, 17(3), 679, 2020.
- GERBER, M. D. Avaliação da toxicidade de efluentes da parboilização de arroz e do abate de suínos. **Tese de Doutorado** (Programa de Pós-graduação em ciência e tecnologia de alimentos), Universidade Federal de Pelotas, 2015.
- GHEEWALA, S.; SILALERTRUKSA, T.; NILSALAB, P.; MUNGKUNG, R.; PERRET. S. R.; CHAIYAWANNKARN, N. Water footprint and impact of water consumption for food, feed, fuel crops production in Thailand. **Water**, v. 6, n. 6, p. 1698-1718, 2014.
- GHOSH, S. Globalization and Environment: An Asian Experience. **Journal of International Commerce, Economics and Policy**, v. 9, n. 03, p. 1850010, 2018.
- GIACOMIN, G. S.; JR, A. A. O.; Análise de resultados de pegada hídrica por países e produtos específicos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1562-1572, 2012.
- GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B. **Ecologia industrial: conceitos, ferramentas e aplicações**. Editora Blucher, 2006.
- GIULIANA, V.; LUCIA, M.; MARCO, R.; SIMONE, V. Environmental life cycle assessment of rice production in northern Italy: a case study from Vercelli. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, 1-18, 2022.
- GODOY, C. M. T.; Pérez, F. I. C.; SILVEIRA, G. H. A Legislação ambiental e os dilemas da agricultura familiar. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, 2009.
- GÓIS, J. A.; PAIVA, M. F. A.; TAVARES, S. M. G. Projetos de irrigação no vale do baixo São Francisco. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**. Rio de Janeiro – RJ, 1992.

GUIMARÃES, R. P.; FONTOURA, Y. S. R. Rio+ 20 ou Rio-20?: crônica de um fracasso anunciado. **Ambiente & Sociedade**, v. 15, n. 3, p. 19-39, 2012.

GUINÉE, J. B. **Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards**. Springer Science & Business Media, 2002.

HABIBI, E.; NIKNEJAD, Y.; FALLAH, H.; DASTAN, S.; TARI, D. B. Life cycle assessment of rice production systems in different paddy field size levels in north of Iran. **Environmental monitoring and assessment**, 191(4), 202, 2019.

HAMMOND, A.; WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. Washington, DC: World Resources Institute, 1995.

HANAI, F. Y.; ESPÍNDOLA, E. L. G. Indicadores de sustentabilidade: conceitos, tipologias e aplicação ao contexto do desenvolvimento turístico local. **Environmental & Social Management Journal/Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 5, n. 3, 2011.

HANSEN, K.; SEIERSTAD, C. Corporate Social Responsibility and Diversity Management. **Switzerland: Springer International Publishing**, 2017.

HE, X.; QIAO, Y.; LIANG, L.; KNUDSEN, M. T.; MARTIN, F. Environmental life cycle assessment of long-term organic rice production in subtropical China. **Journal of Cleaner Production**, 176, 880-888, 2018.

HEREDIA, M.; FALCONÍ, A. K.; BARRETO, D.; AMORES, K.; JAMIL, H.; TORRES, B. Conductas sustentables sobre el marco de evaluación SAFA-FAO: Un aporte para poblaciones rurales vulnerables de la Amazonía. **Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao**, 312-326, 2020.

HEREDIA-R, M.; TORRES, B.; VASSEUR, L.; PUHL, L.; BARRETO, D.; DIAZ-AMBRONA, C. G. Sustainability dimensions assessment in four traditional agricultural systems in the Amazon. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, 5, 782633, 2022.

HESPANHOL, I. Conservação e reuso como instrumentos de gestão para atenuar os custos de cobrança pelo uso da água no setor industrial. IN: **BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENSTUHL, M. C. B. (ORG). Águas do Brasil: análises estratégicas**. Instituto de Botânica, São Paulo – SP, 2014).

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M.; MEKONNEN, M. M. **Manual de Avaliação da Pegada Hídrica: Estabelecendo o Padrão Global**. Water Footprint Network, 2011.

HOKAZONO, S.; HAYASHI, K. Life cycle assessment of organic paddy rotation systems using land-and product-based indicators: a case study in Japan. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 20, p. 1061-1075, 2015.

- HOUSHYAR, E.; CHEN, B.; CHEN, G. Q. Environmental impacts of rice production analyzed via social capital development: An Iranian case study with a life cycle assessment/data envelopment analysis approach. **Ecological indicators**, *105*, 675-687, 2019.
- INPEV. Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias. Relatório de Sustentabilidade. 2022. Disponível em: <https://www.inpev.org.br/Sistemas/Saiba-Mais/Relatorio/inpEV-RS2022.pdf>> Acesso em: 19. nov 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: [www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/se/.html](http://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/se/.html)? Acesso em: 08 de junho de 2020.
- JEKAYINFA, S. O.; PECENKA, R.; KEHINDE, F. J.; OGUNLADE, C. A.; ONI, O. Life Cycle assessment of local rice production and processing system in Nigeria. In **The Proceedings 12th CIGR Section VI International Symposium** (Vol. 22, p. 25), 2018.
- JONAS, H. **O princípio da responsabilidade**: Ensaio de uma ética para a civilização tecnológica. Trad. Marijane Lisboa e Luiz B. Montes. Rio de Janeiro. PUC, 2006.
- JUNIOR, J. T.; SILVA, G. G. C.; ANDRADE GONÇALVES, R. Estudo da variabilidade do impacto ambiental devido à produção de soja em relação ao tempo. In: Silveira, J. H. P (org.) **Sustentabilidade e responsabilidade social**, p. 63.
- KAMALAKKANNAN, S.; KULATUNGA, Asela K. Life cycle assessment of rice processing. In: **International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**. p. 3417-3424, 2018.
- KHOSHNEVISAN, B.; RAJAEIFAR, M. A.; CLARK, S.; SHAMAHIRBAND, S.; ANUAR, N. B.; SHUIB, N. L. M.; GANI, A. Evaluation of traditional and consolidated rice farms in Guilan Province, Iran, using life cycle assessment and fuzzy modeling. **Science of the Total Environment**, *481*, 242-251, 2014.
- KLARIN, T. O conceito de desenvolvimento sustentável: do seu surgimento às questões contemporâneas. **Revista Internacional de Economia e Negócios de Zagreb**, v. 21, n. 1, p.67-94, 2018.
- KLEIN, C.; NOVOA, R. S. A.; OGLE, S.; SMITH, K. A.; ROCHETTE, P.; WIRTH, T. C.; MCCONKEY, B. G.; MOSIER, A.; RYPDAL, K.; Emissiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea. IN: (ORG) **EGGLESTON, S.; BUENDIA, L.; MIWA, K.; NGARA, T.; TANABE, K. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero – volume 4 – Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra**. IPCC, 2006. IGES: Japón, 2006.
- KORSUKA, L. K. Avaliação dos Conceitos de Água Virtual e Pegada Hídrica na Gestão de Recursos Hídricos: Estudo de Caso da Soja e Óleo de Soja. 144f. **Dissertação** (Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia) - Universidade Federal do Paraná, 2013.
- KRONEMBERGER, D. M. P. Os desafios da construção dos indicadores ODS globais. **Ciência e Cultura**, v. 71, n. 1, p. 40-45, 2019.

- LEE, S. H.; CHOI, J. Y.; YOO, S. H.; MOHTAR, R. H. Water footprint for Korean rice products and virtual water trade in a water-energy-food nexus. **Virtual Water** (pp. 155-170). Routledge, 2020.
- LEFF, E. Agroecologia e saber ambiental. **Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável**, v. 3, n. 1, p. 36-51, 2002.
- LEFF, E. Complexidade, racionalidade ambiental e diálogo de saberes. **Educação & Realidade**, Porto Alegre, 34 (3): 17-24. 2009.
- LEFF, E. **Racionalidade ambiental: a reapropriação social da natureza**. Editora Civilização Brasileira, Rio de Janeiro – RJ, 2006.
- LEFF, E. **Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade**. Editora Vozes; 11ª edição. 2014.
- LEON, A.; MINAMIKAWA, K.; IZUMI, T.; CHIEM, N. H. Estimating impacts of alternate wetting and drying on greenhouse gas emissions from early wet rice production in a full-dike system in An Giang Province, Vietnam, through life cycle assessment. **Journal of cleaner production**, 285, 125309, 2021.
- LI, Y.; MIGLIACCIO, K. **Water quality concepts, sampling and analyses**. CRC Press Taylor & Francis Web group, 2010.
- LIMA, E. P. C. **Água e Indústria: experiências e desafios**. 1ª. ed. Editora: Infinita Imagem, 2018.
- LIMA, G.M. Sergipe. In: **XAVIER, Y.M.D.A e BEZZERA, F.N. (Org.) Gestão Legal dos recursos hídricos dos Estados do Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, 2005.
- LIMA, M. A.; VIEIRA, R.; LUIZ, A.; GALVAO, J. Emissão de metano em cultivo e arroz irrigado sob sistema pré-germinado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 91. **Embrapa Meio Ambiente**. Jaguariúna, SP. 2021.
- LINS, I. O. Avaliação ambiental de sistemas de cultivos para renovação da cacauicultura no Sul da Bahia. 122 f. **Tese de Doutorado** (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – BA, 2016.
- LIU, X.; BAKSHI, B. R.; RUGANI, B.; DE SOUZA, D. M.; BARE, J.; JOHNSTON, J. M.; VERONES, F. Quantification and valuation of ecosystem services in life cycle assessment: Application of the cascade framework to rice farming systems. **Science of the Total Environment**, 747, 141278, 2020.
- Lockie, S. and Kitto, S. (2000) ‘Beyond the farm gate: production–consumption networks and agri-food research’, **Sociologia Ruralis**, 40, 1: 3–19.
- LOPES, B. A. de V. UMA RACIONALIDADE AMBIENTAL. **REMEA - Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental**, Rio Grande do Sul - RS, v. 23, 2013.

DOI: 10.14295/remea.v23i0.3958. Disponível em:

<https://periodicos.furg.br/remea/article/view/3958>. Acesso em: 03 nov. 2021.

LOPES, M. F. de L.; LOPES, A. de M. Aspectos qualitativos e nutricionais do arroz. Encontro Técnico: Tecnologias para produção de arroz no sudeste paraense. **Embrapa Amazônia Oriental**. São Geraldo do Araguaia – PA, 2008.

LORENZETT, D. B.; NEUHAUS, M.; SCHWAB, N. T. Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. **Revista Gestão Industrial**, v. 8, n. 1, 2012.

LOURENÇO, M. S. A água na indústria de pescados e no segmento de alimentação coletiva: uso da avaliação do ciclo de vida como ferramenta para o desenvolvimento sustentável. **Dissertação** (mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio Janeiro – RJ, 2012.

LUDIN, N. A. **Life Cycle Assessment of Photovoltaic Systems in the APEC Region**.

APEC Energy Working Group. 2019. Disponível em: <

<https://www.apec.org/Publications/2019/04/Life-Cycle-Assessment-of-Photovoltaic-Systems-in-the-APEC-Region>>. Acesso em: 05 de jun. de 2020.

MACIEL, A. M. Life cycle assessment of milk production. **Dissertação** (mestrado acadêmico) em Ecologia. Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Juíz de Fora. 2019.

MADEJÓN, P. Vanadium. **In: ALLOWAY, B. J. (Editor). Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability**. Whiteknights Readings UK, 2013.

MAHMOOD, A.; GHEEWALA, S. H. A comparative environmental analysis of conventional and organic rice farming in Thailand in a life cycle perspective using a stochastic modeling approach. **Environmental Research**, 235, 116670, 2023.

MANKE, E. B.; SANTOS, A. F.; PINTO, M. A. B.; PARFITT, J. M. B.; BAMBERG, A. L.; FARIA, L. C. Pegada Hídrica do arroz cultivado sob diferentes manejos de irrigação. **Irriga**, 1(2), 248-263, 2021.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia científica**. São Paulo: Editora Atlas, 2003.

MARONEZI, V.; SANTOS, M. M. A.; FARIA, D. B.; ROSA, M. I. G.; SHINZATO, M. C. Mecanismos de remoção de cromo (VI) do solo pela interação entre matéria orgânica e ferro (III). **Revista do Instituto Geológico (Descontinuada)**, 40(2), 17-33.0, 2019.

MARQUES, R. V. Recursos hídricos no Brasil: um panorama histórico e institucional. **R. Tecnologia & Cultura**, v. 19, n. 29, p. 15-23, 2017.

MARZULLO, R. C. M.; MATAI, P. L. S.; Pegada Hídrica com abordagem de avaliação de ciclo de vida (ACV). **IN: EMPINOTI, V; JACOBI, P.R. (Org.). Pegada Hídrica: inovação, corresponsabilização e os desafios de sua aplicação**. São Paulo: Annablume, 2012.

- MASUDA, K. Eco-efficiency assessment of intensive rice production in Japan: Joint application of life cycle assessment and data envelopment analysis. **Sustainability**, v. 11, n. 19, p. 5368, 2019.
- MÁXIMO, L. M. A agenda de desenvolvimento pós-2015 da ONU: os desafios e potencialidades dos objetivos de desenvolvimento sustentável para o continente africano. **Revista Perspectiva: reflexões sobre a temática internacional**, v. 8, n. 15, 2015.
- MAZZI, A. Introduction. Life cycle thinking. **IN: REN, J.; TONIOLO, S. (Editors) Life Cycle Sustainability Assessment for Decision-Making**. Elsevier, 2020. p. 1-19.
- MCGLADE, J. Foreword: Finding the Right Indicators for policymaking. **IN: HAK, T.; MOLDAN, B.; DAHI, A. L. Sustainability Indicators: A scientific assessment**. Washington: Island Press, 2007.
- MEADOWS, D.H., MEADOWS, D.L., RANDERS, J.; BEHRENS III, W.W. **The Limits of Growth. A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind**. New York: Universe Books, 1972.
- MÉLO SILVA, I. S. O arroz agroecológico e a rizicarcinicultura no perímetro irrigado Betume/SE. **Dissertação** (mestrado em desenvolvimento e meio ambiente). Universidade Federal de Sergipe – UFS. São Cristóvão – SE, 2020.
- MERTES, J; SMOLDERS, E. ZINC. **IN: ALLOWAY, B. J. (Editor). Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability**. Whiteknights Readings UK, 2013.
- MICHIELS, F.; GEERAERD, A. How to decide and visualize whether uncertainty or variability is dominating in life cycle assessment results: A systematic review. **Environmental Modelling & Software**, v. 133, p. 104841, 2020.
- MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na indústria uso racional e reúso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- MILLER JR, G.T. **Ciência Ambiental**. Tradução All Tasks. Revisão Técnica Wellington Braz Carvalho. São Paulo: Cengage Learning, 2014.
- MOHAMMADI, A.; RAFIEE, S.; JAFARI, A.; KEYHANI, A.; DALGAARD, T.; KNUDSEN, M. T.; HERMANSEN, J. E. Joint life cycle assessment and data envelopment analysis for the benchmarking of environmental impacts in rice paddy production. **Journal of Cleaner Production**, 106, 521-532, 2015.
- MOM, R. J. C. **A high spatial resolution analysis of the water footprint of global rice consumption**. 136f. Thesis of Science (Master in Civil Engineering and Management), University of Twente - UT, Enschede /NL, 2007.
- Monteiro, J. E. (ORG). **Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, Distrito Federal - DF, 2009.

- MONTEIRO, N. B. R.; Gestão do Ciclo de Vida: bases para aplicação da economia circular em indústrias de concreto da construção civil. **Tese** (doutorado em desenvolvimento e meio ambiente). Universidade Federal do Piauí – UFPI. Teresina – PI, 2021.
- MONTOYA, M. A.; FINAMORE, E. B. Os recursos hídricos no agronegócio brasileiro: Uma análise insumo-produto do uso, consumo, eficiência e intensidade. **Revista Brasileira de Economia**, v. 74, p. 441-464, 2021.
- MORANDINI, N. P.; PETROUDI, E. R.; MOBASSER, H. R.; DASTAN, S. Life cycle assessment of crop rotation systems on rice cultivars in Northern Iran. **International Journal of Plant Production**, 14(3), 531-548, 2020.
- MORIN, E. **Introdução ao Pensamento Complexo**. Tradução Eliane Lisboa. 5. Ed. Porto Alegre: Sulina, 2005.
- MORIN, E. **O método 4: as ideias – habitat, vida, costumes, organização**. Tradução: Juremir Machado da Silva. Porto Alegre: Sulina, 1998.
- MORIN, E. **O Método I: a natureza da natureza**. 2º ed. Tradução: M. G de Bragança. Portugal – América, 1977.
- MORIN, E. **Saberes globais e saberes locais: o olhar transdisciplinar**. Editora Garamond, 2000.
- MOURA, A. S.; BEZERRA, M. C. Governança e sustentabilidade das políticas públicas no Brasil. In: **MOURA, A. S. (ORG.). Governança ambiental no Brasil: instituições, atores e políticas públicas** – Instituto de Pesquisas Aplicadas – IPEA, Brasília - DF, 2016.
- MUHLISYIYAH, J.; SHAMSUDIN, R.; KADIR BASHA, R.; SHUKRI, R.; HOW, S.; NIRANJAN, K.; ONWUDE, D. Parboiled rice processing method, rice quality, health benefits, environment, and future perspectives: A review. **Agriculture**, 13(7), 1390, 2023.
- MUNASINGHE, M. The sustainomics trans-disciplinary meta-framework for making development more sustainable: applications to energy issues. **International Journal of Sustainable Development**, v. 5, n. 1-2, p. 125-182, 2002.
- MUNCK, L; SOUZA, R. B. Responsabilidade social empresarial e sustentabilidade organizacional: a hierarquização de caminhos estratégicos para o desenvolvimento sustentável. **REBRAE**, v. 2, n. 2, p. 185-202, 2009.
- MUNGKUNG, R.; PENGTHAMKEERATI, P.; CHAICHANA, R.; WATCHAROTHAI, S.; KITPAKORNANTI, K.; TAPANANONT, S. Life Cycle Assessment of Thai organic Hom Mali rice to evaluate the climate change, water use and biodiversity impacts. **Journal of cleaner production**, 211, 687-694, 2019.
- MUNGKUNG, R.; SITTHIKITPANYA, S.; DANGSIRI, S.; GHEEWALA, S. H. Life cycle assessment of Thai Hom Mali rice to support the policy decision on organic farming area expansion. **Sustainability**, 12(15), 6003, 2020.
- NABAVI-PELESARAEI, A.; RAFIEE, S.; MOHTASEBI, S. S.; HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, H.; CHAU, K. W. Integration of artificial intelligence methods and life cycle

assessment to predict energy output and environmental impacts of paddy production. **Science of the total environment**, 631, 1279-1294, 2018.

NASCIMENTO, M. C.; RIBEIRO, C. E. J.; AGUIAR NETTO, A. O. Relatório técnico da campanha de avaliação das mudanças socioambientais decorrentes da regularização das vazões no baixo Rio São Francisco. **Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco Alagoas**, 2013.

NAVAS, R.; NETTER, G.; FILHO, E. F. O. Family farming in the lower São Francisco: socio-productive profile and food security. IN: SOARES, E. C.; SILVA, J. V.; NAVAS, R. **O baixo São Francisco: características ambientais e sociais**. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL: EDUFAL; 2020.

NEMECEK, T. ; BENGUA, X.; LANSCH, J.; ROESCH, A.; FAIST-EMMENEGGER, M.; ROSSI, V.; HUMBERT, S. **Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products, Version 3.0**. Switzerland: WFLDB. 84 p.2019.

NETO, A. A. O (ORG). **A cultura do arroz**. Brasília, Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, 180p, 2015.

NETO, A. L. **A educação ambiental como resolução do conflito entre desenvolvimento sustentável e globalização**. Frutal – MG, Editora Prospectiva, 2016.

NETTER, G. H.; NAVAS, R.; SILVA, T. D. J.; SOARES, E. Expedição científica pelo Baixo São Francisco: experiências com agricultura familiar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, 2020.

NEWELL, P; **The globalization and environment: Capitalism, Ecology & Power**. Polity Press, 2012.

NTIAMOAH, A.; AFRANE, G. Environmental impacts of cocoa production and processing in Ghana: life cycle assessment approach. **Journal of cleaner production**, v. 16, n. 16, p. 1735-1740, 2008.

NUNES, F. A.; SEFERIN, M.; MACIEL, V. G.; AYUB, M. A. Z. Life Cycle Assessment comparison between brown parboiled rice produced under organic and minimal tillage cultivation systems. **Journal of cleaner production**, 161, 95-104, 2017.

NUNES, F. A.; SEFERIN, M.; MACIEL, V. G.; AYUB, M. A. Z. Life Cycle Assessment comparison between brown parboiled rice produced under organic and minimal tillage cultivation systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 161, p. 95-104, 2017.

NUNES, F. A.; SEFERIN, M.; MACIEL, V. G.; FLÔRES, S. H.; AYUB, M. A. Z. Life cycle greenhouse gas emissions from rice production systems in Brazil: A comparison between minimal tillage and organic farming. **Journal of Cleaner Production**, 139, 799-809, 2016.

NUNES, O. M. O uso da casca de arroz como alternativa energética: um estudo de caso no município de Dom Pedrito-RS. **Informe Gepec**, v. 21, n. 2, p. 42-62, 2017.

OECD. Development, measurement and use. Environmental Indicators – OECD Core Set, OECD Paris, 1994.

- OLIVEIRA, A. C. J. Proposições tecnológicas na produção de derivados de umbu: uma abordagem do ciclo de vida. **Dissertação** (mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos), Universidade do Sudoeste da Bahia. Itapetinga – BA. 2020.
- OLIVEIRA, C. A. O.; ANSELMINI, A. A.; FERNANDO, D.; KOLLING, M. I. F. F.; DALLA CORTE, V. F.; DHEIN, M. Farinha de arroz e derivados como alternativas para a cadeia produtiva do arroz. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande – PB, 2014.
- OLIVEIRA, C. H. A.; FRANÇA, V. L. A.; CASTANEDA, D. N. Transformações no Baixo São Francisco Sergipano. **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina**, p. 20-26, 2005.
- OLIVEIRA, J; HANISCH, A. L.; ROSA FARIAS, D. SAFA FAO as an assessment tool for family farming under the sustainability bias. **Sustainability in Debate**, v. 14, n. 1, p. 216-229, 2023.
- OLIVEIRA, L. O; CEZAR-VAZ, M. R.; COSTA, V. Z.; SIMON, D.; ROCHA, L. P.; BORGES, A. M. Nursing and the rural context: relations with health, environment and work. **Journal of Nursing UFPE/Revista de Enfermagem UFPE**, v. 6, n. 12, 2012.
- OLIVEIRA, M. A. **A Sustentabilidade e a Responsabilidade Social das Empresas: lucratividade para as organizações e geração de benefícios sociais**. In: X Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2014.
- OLIVEIRA, M. C. B. R. Avaliação de Ciclo de Vida de Embalagens Plásticas de Óleo Lubrificante: um estudo de caso. **Tese** (Doutorado em Pesquisa de engenharia). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ, 2017.
- OLIVEIRA, S. B.; MAHLER, C. F.; **Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos – Uma Introdução**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2018.
- OMS. **Promoción de la salud: glosario. Organización Mundial de la Salud**. Ginebra: OMS, 1998.
- OORTS, K.; COOPER. IN: **ALLOWAY, B. J. (ORG.) Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability**. Whiteknights Readings UK, 2013.
- PARAMESH, V.; KUMAR, P.; PARAJULI, R.; FRANCAVIGLIA, R.; MANOHARA, K. K.; ARUNACHALAM, V.; TORASKAR, S. A Life Cycle Assessment of Rice–Rice and Rice–Cowpea Cropping Systems in the West Coast of India. **Land**, 12(2), 502, 2023.
- PAUL, B. D. Sustainable Development—A theoretical approach. **Annals of the University of Oradea, Economic Science Series**, v. 17, n. 2, p. 581-585, 2008.
- PEDROSO, N. A.; GARBOSA, D. W.; ANTIQUEIRA, L. M. O. R. Agricultura familiar, alimentos orgânicos e selo nacional: panorama atual no Brasil. **Nativa**, v. 11, n. 3, p. 374-379, 2023.

PEREIRA, A. C.; SILVA, G. Z.; CARBONARI, M. E. E. Sustentabilidade, responsabilidade social e meio ambiente. São Paulo: Saraiva, 2011.

PIERRE, J.; PETERS, B.G. **Governance, Politics and the State**, Basingstoke: Macmillan, 2020.

PORTALES, L.; GUSTAVO, C. G.; LÓPEZ, Y. Evolución de la responsabilidade social empresarial: Surgimiento, definición y proliferación global. **IN: EMMANUEL, E. R.; PORTALES DERBEZ, L.; GARCIA DE LA TORRE, C.; AGUILAR LOZANO, J. F.; DUQUE, E. B. (ORG). Responsabilidad, ética y sostenibilidad empresarial**. 1st ed. México: Pearson Educación de México, 2017.

PORTO, M. **A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil**. Agência Nacional de Águas, 2002.

PRESUMIDO, P. H. **Impactes ambientais da cadeia produtiva de carne bovina do nordeste de Portugal usando uma abordagem de avaliação do ciclo de vida**. Dissertação (Mestrado em tecnologia ambiental). Instituto Politécnico de Bragança. Bragança – Portugal, 2017.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C.; **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**, 2ª Edição. Editora Feevale, 2013.

QUEIROZ, F. C.; MACHADO, V. S. Controle de roedores em propriedades rurais da Zona da Mata Mineira. **Monografia** (Engenharia Ambiental e Sanitária), Faculdade Franco Cardoso de Queiroz, Juiz de Fora – MG, 2019.

RABELO, L. S.; LIMA, P. V. P. S. Indicadores de sustentabilidade: a possibilidade da mensuração do desenvolvimento sustentável. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 1, n. 1, 2009.

RABELO, R. R.; SANTOS, A. L. C.; SILVA, B. C.; FREIRE, J. B. A cadeia produtiva orizícola do baixo São Francisco: antecedentes, situação atual, perspectivas e atuação de alguns componentes. **Embrapa Arroz e Feijão**, Brasília - DF, 2013.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G; (org.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3.ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

RENOUF, M. A.; WEGENER, M. K.; PAGAN, R. J. Life cycle assessment of Australian sugarcane production with a focus on sugarcane growing. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 15, p. 927-937, 2010.

RIBEIRO, C.S. Pegada Hídrica e Água Virtual: Estudo de caso da manga no Submédio do Vale do São Francisco, Brasil. 79f. **Dissertação** (Mestrado em Economia) – Faculdade de Economia, Universidade Federal da Bahia, 2014.

RIBEIRO, W. C.; LOBATO, W.; OLIVEIRA, L. M. L. P. R., LIBERATO, R. C.; A concepção de natureza na civilização ocidental e a crise ambiental. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, Sobral – CE, 2012.

RIEKSTI, A. C. ISO 14001 E A SUSTENTABILIDADE A eficácia do instrumento no alcance do desenvolvimento sustentável. **Certificação e sustentabilidade ambiental: uma análise crítica**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

RODRIGUES, J. C.; NASCIMENTO, R. S.. Saber ambiental, complexidade e educação ambiental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 11, n. 5, p. 152-165, 2016.

RODRIGUES, T. O.; SUGAWARA, E. T.; SILVA, D.; FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; BRAGA, T. E. N.; UGAYA, C. M. L. **Guia qualidata: requisitos de qualidade de conjunto de dados para o banco nacional de inventários do ciclo de vida**. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia, Brasília – DF, 2016.

RODRIGUEZ, C.; DIMITROVA MÅRTENSSON, L. M.; ZACHRISON, M.; CARLSSON, G. Sustainability of diversified organic cropping systems—challenges identified by farmer interviews and multi-criteria assessments. **Frontiers in Agronomy**, 3, 698968, 2021.

ROSA, D. F. M. Avaliação de Ciclo de Vida da castanha e do tomate em Portugal. **Dissertação** (mestrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de ciências e tecnologia), Universidade de Coimbra, Portugal, 2014.

SÁEZ, U. A. J. Análisis del ciclo de vida de un sistema de producción de arroz en la Albufera de Valencia. **Master** (ciencia y tecnologia de los alimentos). Universitat Politècnica de València, 2021.

SAFADI, V. T. Impactos socioambientais da carcinicultura nos povoados Ponta dos Mangues e Boca da Barra, Pacatuba/SE. **Conclusão de Curso** (Ecologia) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão – SE, 2018.

SAFAYA, S; ZHANG, G; MATHEWS. **Toward sustainable water use in the cotton supply chain: a comparative assesment of the water footprint of agricultural practices in India**. 2016. Disponível em: <<https://waterfootprint.org/media/downloads/AssessmwaterfootprintcottonIndia.pdf>>. Acesso em: 03 de jun. de 2020.

SAIDELLES, A. P. F.; SENNA, A. J. T.; KIRCHNER, R.; BITENCOURT, G. Gestão de resíduos sólidos na indústria de beneficiamento de arroz. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, 904-916, 2012.

SÁNCHEZ-BRENES, R. J.; ARBOLEDA-JULIO, E. Evaluación de la sostenibilidad en el cultivo de plátano, Caribe Sur, Costa Rica. **Revista de Ciencias Ambientales**, v. 55, n. 1, p. 250-270, 2021.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca. **Lista de verificação das boas práticas de fabricação em estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos**. SEAP, 2014.

SANTIAGO, J. A. C. Logística reversa das embalagens de agrotóxicos no campo sergipano. **Dissertação** (Ciências Ambientais), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão –SE, 2023.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: Aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, 2020.

SANTOS, E. J. N. A importância do tratamento e cuidados com a água de caldeira. **Conclusão de Curso** (Bacharel em Ciência e Tecnologia). Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, Mossoró – RN, 2018.

SANTOS, G. R. Pegada Hídrica em laticínio na bacia leiteira do Estado de Sergipe. **Dissertação** (mestrado em Saúde e Ambiente), Universidade Tiradentes – UNIT, Aracaju - SE, 2020.

SANTOS, M. **Por uma outra globalização – do pensamento único à consciência universal**. Rio de Janeiro: Editora Record, 2001.

SANTOS, P. V. C. J.; CUNHA, A. C. Outorga de recursos hídricos e vazão ambiental no Brasil: Perspectivas metodológicas frente ao desenvolvimento do setor hidrelétrico na Amazônia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n. 3, p. 81-95, 2013.

SCHONARDIE, E. F. A relação homem-natureza e as implicações na proteção do meio ambiente na contemporaneidade. **Dom Helder Revista de Direito**, v. 3, n. 5, p. 115-139, 2020.

SERGIPE, Plano de desenvolvimento do território baixo São Francisco. Aracaju - SE, 2008.

SERGIPE. **Lei Nº 8887 de 02 de setembro de 2021**. Institui o Serviço de Inspeção Agroindustrial, Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal no Estado de Sergipe – SIE/SE, e dá providências correlatas. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=419785>. Acesso em: 28 de fev. 2024.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos PROÁGUA Nacional. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Sergipe**. Relatório Final. Vol. 1. Aracaju, 2011.

SERGIPE. Secretaria de Estado do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Perfil da Agricultura Sergipe 2016 – 2017**. Aracaju, 2018.

SHAH, A. N.; TANVEER, M.; HUSSAIN, S.; YANG, G. Beryllium in the environment: Whether fatal for plant growth? **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, 15, 549-561, 2016.

SHAMSI, K. B. A.; GUARNACCIA, P. COSENTINO, S. L.; LEONARDI, C.; CARUSO, P. STELLA, G.; TIMPANARO, G. Analysis of relationships and sustainability performance in organic agriculture in the United Arab Emirates and Sicily (Italy). **Resources Journal**, v. 8, n. 1, p. 39, 2019.

SILIPRANDI, E.; CINTRÃO, R. Mulheres rurais e políticas públicas no Brasil: abrindo espaços para o seu reconhecimento como cidadãs. **IN C. GRISA.; S. SCHNEIDER (ORG). Políticas públicas de desenvolvimento rural no Brasil**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2015.

SILVA, A. S. O saber e a intencionalidade científica ambientalista. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 11, n. 5, p. 184-196, 2016.

SILVA, A. C. A. B. As águas do Rio São Francisco: disputas, conflitos e representações do mundo rural. 406f. **Tese** (doutorado em Ciências Sociais) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2017.

SILVA, A. M.; PONCIANO, N. J.; SOUZA, P. M.; CEZAR, L. Extensão rural e construção da equidade de gênero: limites e possibilidades. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 58, p. e187845, 2020.

SILVA, E. A.; BERNADO, D. C. R.; MENDONÇA, F. M.; NASCIMENTO, J. P. B.; Investimentos em ações de responsabilidade social no Brasil: uma análise quantitativa. **Revista de Administração, Sociedade e Inovação**, v. 1, n. 1, p. 53-69, 2015.

SILVA, E. C. P. Impactes ambientais na produção de vinho na região sul de Portugal usando uma abordagem de avaliação do ciclo de vida. **Dissertação** (mestrado em tecnologia ambiental com diplomação dupla com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina). Instituto Politecnico de Braganca, Bragança - Portugal, 2020.

SILVA, J. I. A. O. Reflexões teóricas acerca da “crise ambiental”: possibilidades de novas orientações para as políticas públicas ambientais. **Ciências Sociais Unisinos**, v. 52, n. 2, p. 205-213, 2016.

SILVA, J. I. A. O. **Ressignificação ambiental e modernização ecológica no semiárido: o projeto de integração e a revitalização do São Francisco**. Hucitec Editora, 2016.

SILVA, R. C. F.; SOUZA, J. B.; SANTOS, M. O. A crise, a COVID e o preço do arroz: práticas alimentares, políticas públicas e movimentos de resistência. **Revista Práxis**, 2, 174–188., 2021. <https://doi.org/10.25112/rpr.v2i0.2578>.

SOARES, S. A; **Gestão de recursos hídricos**. Editora Intersaberes, Curitiba – PR, 2015.

SOLDI, A.; APARICIO MEZA, M. J.; GUARESCHI, M.; DONATI, M.; INFRÁN ORTIZ, A. Sustainability assessment of agricultural systems in Paraguay: A comparative study using FAO’s SAFA framework. **Sustainability**, 11(13), 3745, 2019.

SÓLIO, M. B. Responsabilidade Social e sustentabilidade no contexto do século XXI. **Revista Alceu**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 26, p. 176-192, 2013.

SOUSA, I. S. F.; FERREIRA, C. M. Aspectos histórico-culturais do arroz e do feijão na sociedade brasileira mundo **IN: FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. (ORG) Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

Sousa, J. V. Industrialização e gestão de resíduos de arroz no Brasil. **Trabalho de conclusão de curso** (Engenharia de Alimentos), Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas – MG, 2019.

SOUZA GOES, H. L; REBOUÇAS, G. M. Responsabilidade empresarial e Greenwashing: implicações ética e jurídicas. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 3, n. 1, p. 91-107, Brasília, DF, 2017.

- SOUZA, J.; MORAES, M. E. B.; SONODA, S. L.; SANTOS, H. C. R. G. A importância da qualidade da água e os seus múltiplos usos: caso Rio Almada, sul da Bahia, Brasil. **REDE-Revista Eletrônica do Prodema**, v. 8, n. 1, 2014.
- SOUZA, M. C. S. A.; ARMADA, C. A. S. Desenvolvimento sustentável e sustentabilidade: evolução epistemológica na necessária diferenciação entre os conceitos. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 3, n. 2, p. 17-35, 2017.
- SPECK, R.; SELKE, S.; FITZSIMMONS, J. Life cycle assessment software: Selection can impact results. **Journal of Industrial Ecology**, v. 20, n. 1, p. 18-28, 2016.
- STEWART, R.; FANTKE, P.; BJØRN, A.; OWSIANIAK, M.; MOLIN, C.; HAUSCHILD, M. Z.; LAURENT, A. Life cycle assessment in corporate sustainability reporting: Global, regional, sectoral, and company-level trends. **Business Strategy and the Environment**, 27(8), 1751-1764. 2018.
- STEWART, R.; P., BJØRN, A.; OWSIANIAK, M.; MOLIN, C.; HAUSCHILD, M. Z.; LAURENT, A. Life cycle assessment in corporate sustainability reporting: Global, regional, sectoral, and company-level trends. **Business Strategy and the Environment**, v. 27, n. 8, p. 1751-1764, 2017.
- STOFFEL, J. A.; COLOGNESE, S. A. A sustentabilidade na agricultura familiar: indicadores e índices econômicos e sociais de avaliação. **Tempo da Ciência**, v. 22, n. 44, p. 47-59, 2015.
- TAVARES, F; FERREIRA, G. G. T. Marketing verde: um olhar sobre as tensões entre greenwashing e ecopropaganda na construção do apelo ecológico na comunicação publicitária. **Revista Espaço Acadêmico**, v. 12, n. 138, p. 23-31, 2012.
- TEIXEIRA, C. A. O enfraquecimento das políticas públicas para agricultura familiar: uma análise do PAA. **REVISTA NERA**, Presidente Prudente – SP, 2023.  
<https://doi.org/10.47946/rnera.v26i65.9251>
- TEIXEIRA, N. F. F.; MOURA, P. E. F.; SILVA, F. A. S. A questão do meio ambiente no contexto da globalização: a Educação Ambiental em debate. **Revista Equador**, v. 5, n. 4, p. 221-234, 2016.
- TELLES, L. B. Ferramentas e sistema de custo aplicados a gestão da qualidade no agronegócio. **Dissertação** (mestrado em engenharia de produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa – PR, 2014.
- THOMAZ, J. L. P.; KOHLS, L. P., RAMOS.; T. J. F. R.; GOULARTE, J. L. L. Gestão de custos: um estudo multicase sobre o gerenciamento dos custos na produção de arroz no município de Dom Pedrito - RS. **Anais Do Congresso Brasileiro De Custos - ABC**.CALLAWAY, Ewen. Domestication: The birth of rice. **Nature**, v. 514, n. 7524, p. S58-S59, 2014.
- TIRONI, L. F. Infraestrutura da qualidade, normas técnicas e normalização. 2016.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, C.; OSCAR, M.; **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001.

TUNDISI, J. G. (org.). **Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Editora: Academia Brasileira de Ciências. Rio de Janeiro – RJ, 2014.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, M. T.; **Recursos hídricos no século XXI**. Editora: Oficina de Textos. São Paulo – SP, 2011.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI-MATSUMURA, T. **A água**. Editora Scienza. São Carlos – SP, 2020.

UNESCO; **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Não deixar ninguém para trás**. 2019. Disponível em: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367303\\_por](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367303_por). Acesso em: 20 de fev de 2020.

UREN, N. C. Cobalt and Manganese. **IN: ALLOWAY, B. J. (Editor) Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability**. Whiteknights Readings UK, 2013.

VAN BELLEN, H. M. Indicadores de sustentabilidade: um levantamento dos principais sistemas de avaliação. **Cadernos eBAPE. Br**, v. 2, n. 1, p. 01-14, 2004.

VAN HUNG, N.; MIGO, M. V.; QUILLOY, R.; CHIVENGE, P.; GUMMERT, M. Life cycle assessment applied in rice production and residue management. **Sustainable rice straw management**, 161-174, 2020.

VANDEMOORTELE, J. The MDG story: intention denied. **Development and change**, v. 42, n. 1, p. 1-21, 2011.

VANIN, A. B.; MARQUEZ, G. Aplicação do sistema de gestão ambiental na minimização dos impactos ambientais gerados por uma agroindústria abatedora de aves. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, 6(5), 0640-0646, 2020.

VELOSO, C. A. C.; BOTELHO, S. M.; LOPES, A. M.; CARVALHO, E. J. M. Nutrição mineral e adubação da cultura do arroz de sequeiro. **Embrapa Amazônia Oriental**. Belém – Pará. 2009.

VIANA, M. A.; SOUZA LIRA, E. B.; COELHO, C. D. P. G.; GONDRA BEZERRA, A. P. X.; LORENA, E. M. G.; HOLANDA, R. M. Pegada hídrica em indústria de beneficiamento de jeans no Agreste Pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, 061-068, 2018.

VIEIRA, D. ODS e a Importância Local. **IN: FREY, K.; TORRES, P. H. C.; JACOBI, P. R.; RAMOS, R. F. (ORG.) Objetivos do Desenvolvimento Sustentável: desafios para o planejamento e a governança ambiental na Macrometrópole Paulista**. Editora: UFABC, Santo André – SP, 2020.

VIEIRA, I. C. G.; TOLEDO, P. M.; HIGUCHI, H. A Amazônia no antropoceno. **Ciência e cultura**, v. 70, n. 1, p. 56-59, 2018.

- VIEIRA, N. P. A.; BUENO, E. D. O.; PEREIRA, S. B.; MELLO, C. R. D. Water footprint of the Sobradinho hydropower plant, Northeastern Brazil. **Revista Ambiente & Água**, 13, e2134, 2019.
- VIEIRA, N. R. A.; CASTRO, E. M. Qualidade de grão e padrões de classificação do arroz. **Embrapa Arroz e Feijão**, Santo Antônio de Goiás – GO, 1999.
- VINHAL, L. D. Estudo de indicadores ambientais de blocos cerâmicos com base em avaliação do ciclo de vida, considerando o contexto brasileiro. **Dissertação** (mestrado em estruturas e construção civil). Universidade Federal de São Carlos. São Carlos – SP, 2016.
- VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, 1996.
- WANDER, A. E.; DA SILVA, O. F. Rentabilidade da produção de arroz no Brasil. **IN: CAMPOS, M. M.; TORRES, D. A. P.; PONCHIO, A. P. S.; BARROS, G. S. C. (ORG). Sustentabilidade e sustentação da produção de alimentos no Brasil: O desafio da rentabilidade na produção**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília – DF, 2014.
- WANDER, A. E.; SILVA, O. F.; FERREIRA, C. M. O arroz e o feijão no Brasil e no mundo **IN: FERREIRA, C. M.; BARRIGOSI, J. A. F. Arroz e feijão: tradição e segurança alimentar**. Embrapa Arroz e Feijão, Brasília – DF, 2021.
- WANG, M.; XIA, X.; ZHANG, Q.; LIU, J. Life cycle assessment of a rice production system in Taihu region, China. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, 17(2), 157-161, 2010.
- WANG, Y.; HE, W.; YAN, C.; GAO, H.; CUI, J.; LIU, Q. Environmental Impact of Various Rice Cultivation Methods in Northeast China through Life Cycle Assessment. **Agronomy**, 14(2), 267, 2024.
- WEETMAN, C. **Economia Circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa/** tradução Afonso Celso da Cunha Serra. -- 1. ed. -- São Paulo: Autêntica Business, 2019.
- WOLKMER, M. F. S.; PIMMEL, N. F. Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental. **Sequência (Florianópolis)**, p. 165-198, 2013.
- XAVIER, Y. M. A.; BEZERRA, N. F.; **Gestão legal dos recursos hídricos dos Estados do Nordeste do Brasil**, Fundação Konrad Adenauer, Fortaleza – CE, 2005.
- XU, Q.; LI, J.; LIANG, H.; DING, Z.; SHI, X.; CHEN, Y.; GAO, H. Coupling life cycle assessment and global sensitivity analysis to evaluate the uncertainty and key processes associated with carbon footprint of rice production in Eastern China. **Frontiers in Plant Science**, 13, 990105, 2022.
- YODKHAM, S.; GHEEWALA, S. H.; SAMPATTAGUL, S. Life cycle GHG evaluation of organic rice production in northern Thailand. **Journal of environmental management**, v. 196, p. 217-223, 2017.

YOO, S. H.; CHOI, J. Y.; LEE, S. H.; KIM, T. Estimating water footprint of paddy rice in Korea. **Paddy and water environment**, 12, 43-54, 2014.

YUAN, K. Y.; LIN, Y. C.; CHIUEH, P. T.; LO, S. L. Spatial optimization of the food, energy, and water nexus: A life cycle assessment-based approach. **Energy policy**, 119, 502-514, 2018.

ZANATTA, P. Gestão Ambiental e o Desenvolvimento Sustentável. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 296-312, 2017.

ZHANG, L.; RUIZ-MENJIVAR, J.; TONG, Q.; ZHANG, J.; YUE, M. Examining the carbon footprint of rice production and consumption in Hubei, China: A life cycle assessment and uncertainty analysis approach. **Journal of environmental management**, 300, 113698, 2021.

ZHAO, J.; ZHANG, Y.; XU, H.; TAO, S.; WANG, R.; YU, Q.; MA, W. Trace elements from ocean-going vessels in East Asia: vanadium and nickel emissions and their impacts on air quality. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 126(8), 2021.

ZUFFO, A. C.; ZUFFO, M. S. R. **Gerenciamento de recursos hídricos: conceituação e contextualização**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

**APÊNDICES**

**(A, B, C, D, E, F, G, H)**



## APÊNDICE A

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO – TCLE



Prezado (a) Senhor (a)

Esta pesquisa é sobre a **Pegada Hídrica, Avaliação do Ciclo de Vida e Sistema SAFA como estratégia de análise da sustentabilidade do cultivo de arroz no baixo São Francisco Sergipano**, está sendo desenvolvida pelo doutorando **Camilo Rafael Pereira Brandão**, do Curso de **Pós-Graduação em Rede em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe**, sob orientação do Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Inajá Francisco de Sousa e Co-orientação Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Nathalie Barbosa Reis Monteiro.

O objetivo do estudo é **Aplicar a metodologia da Pegada Hídrica (PH) integrada a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o sistema SAFA para a agroindústria do arroz baixo São Francisco**. A finalidade deste trabalho é conhecer a sustentabilidade hídrica da rizicultura na região do baixo São Francisco a partir da contabilização total da quantidade de água utilizada na produção e beneficiamento do arroz e os impactos socioambientais nos corpos hídricos da região.

Solicitamos a sua colaboração para a aplicação da entrevista semiestruturada, como também sua autorização para apresentar os resultados deste estudo em eventos da área da Saúde, Agricultura e publicações em revista científica nacional e/ou internacional. Por ocasião da publicação dos resultados, seu nome será mantido em sigilo absoluto. Informamos que essa pesquisa pode apresentar possíveis riscos: **tomada de tempo do sujeito ao responder as entrevistas e invasão de privacidade**. Para minimizar os possíveis riscos, **o pesquisador assegura limitar o tempo de aplicabilidade e a confidencialidade e privacidade, proteção de imagem e não estigmatização, garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas e da comunidade**.

Esclarecemos que sua participação no estudo é voluntária e, portanto, o (a) senhor (a) não é obrigado(a) a fornecer as informações e/ou colaborar com as atividades solicitadas pelo Pesquisador(a). Caso decida não participar do estudo, ou resolver a qualquer momento desistir do mesmo, não sofrerá nenhum dano. O pesquisador estará a sua disposição para qualquer esclarecimento que considere necessário em qualquer etapa da pesquisa.

---

Assinatura do pesquisador responsável

Considerando, que fui informado (a) dos objetivos e da relevância do estudo proposto, de como será minha participação, dos procedimentos e riscos decorrentes deste estudo, declaro o meu consentimento em participar da pesquisa, como também concordo que os dados obtidos na investigação sejam utilizados para fins científicos (divulgação em eventos e publicações). Estou ciente que receberei uma via desse documento.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

---

Assinatura do participante

Contato com o Pesquisador (a) Responsável:

Caso necessite de maiores informações sobre o presente estudo, favor ligar para o (a) pesquisador Camilo Rafael Pereira Brandão. Telefone: (75) 98873-9183 ou E-mail: [camilorafael@academico.ufs.br](mailto:camilorafael@academico.ufs.br)



**APÊNDICE B**  
**TERMO DE ANUÊNCIA**  
**BENEFICIADORA DE ARROZ USINA SÃO JOÃO**



Eu, \_\_\_\_\_,  
 \_\_\_\_\_ da Usina São João, autorizo a realização do projeto intitulado  
**“Pegada Hídrica, Avaliação do Ciclo de Vida e Sistema SAFA como estratégia de análise da sustentabilidade do cultivo de arroz no baixo São Francisco Sergipano”** pelos pesquisadores **Me. Camilo Rafael Pereira Brandão, Prof. Dr. Inajá Francisco de Sousa e Co-orientação Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Nathalie Barbosa Reis Monteiro**, que envolverá a coleta de dados a partir de aplicação de questionários semiestruturados e será iniciado após a aprovação pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Sergipe (CEP/UFS).

Estamos ciente de seu compromisso no resguardo da segurança e bem-estar dos participantes da pesquisa, dispondo de infraestrutura necessária para desenvolvê-la em conformidade às diretrizes e normas éticas. Ademais, ratifico que não haverá quaisquer implicações negativas aos **que** não desejarem ou desistirem de participar do projeto. Declaramos ainda conhecer e cumprir a Resolução 466/2012 do CNS; afirmamos o compromisso institucional de apoiar o desenvolvimento deste estudo; e sinalizo que esta empresa de beneficiamento está ciente de suas responsabilidades, de seu compromisso no resguardo da segurança/ bem-estar dos sujeitos da pesquisa, dispondo de infraestrutura necessária para a garantia de tais condições.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de \_\_\_\_.

\_\_\_\_\_  
*Assinatura do responsável pela empresa*



**APÊNDICE C**  
**TERMO DE ANUÊNCIA**  
**COOPERATIVA DE ARROZ COORPEFLORES**



Declaramos para os devidos fins que estamos de acordo com a execução do projeto de pesquisa intitulado **“Pegada Hídrica, Avaliação do Ciclo de Vida e Sistema SAFA como estratégia de análise da sustentabilidade do cultivo de arroz no baixo São Francisco Sergipano”** que tem como objetivo geral **“Aplicar a metodologia da Pegada Hídrica (PH) integrada a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o sistema SAFA para a agroindústria do arroz baixo São Francisco”** do discente de Doutorado: Camilo Rafael Pereira Brandão sob a coordenação e responsabilidade do orientador Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Inajá Francisco de Sousa e Co-orientadora Profa. Dra. Nathalie Barbosa Reis Monteiro, do Programa de Pós-Graduação em Rede em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Campus São Cristóvão, o qual terá apoio desta Cooperativa Agropecuária de Ilha das Flores (Coorpeflores), localizada na Rua Senador Pompeu, N<sup>o</sup> 786, Bairro Centro, Ilha das Flores - SE, CEP 49990-000. Declaramos ainda conhecer e cumprir a Resolução 466/2012 do CNS; afirmamos o compromisso institucional de apoiar o desenvolvimento deste estudo; e sinalizo que esta empresa de beneficiamento está ciente de suas responsabilidades, de seu compromisso no resguardo da segurança/ bem-estar dos sujeitos da pesquisa, dispondo de infraestrutura necessária para a garantia de tais condições.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de \_\_\_\_.

---

*Assinatura do responsável*



**APÊNDICE D**  
**TERMO DE ANUÊNCIA**



**COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DO VALE SÃO FRANCISCO**  
**(CODEVASF)**

Declaramos para os devidos fins que estamos de acordo com a execução do projeto de pesquisa intitulado **“Pegada Hídrica, Avaliação do Ciclo de Vida e Sistema SAFA como estratégia de análise da sustentabilidade do cultivo de arroz no baixo São Francisco Sergipano”** que tem como objetivo geral **“Aplicar a metodologia da Pegada Hídrica (PH) integrada a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o sistema SAFA para a agroindústria do arroz baixo São Francisco”** do discente de Doutorado: Camilo Rafael Pereira Brandão sob a coordenação e responsabilidade do orientador Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Inajá Francisco de Sousa e Co-orientadora Profa. Dra. Nathalie Barbosa Reis Monteiro, do Programa de Pós-Graduação em Rede em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe (UFS), Campus São Cristóvão, o qual terá apoio da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco (CODEVASF), localizada na Av. Gov. Paulo Barreto de Menezes, 2150, Jardins, Aracaju – SE, CEP 49025-040. Declaramos ainda conhecer e cumprir a Resolução 466/2012 do CNS; afirmamos o compromisso institucional de apoiar o desenvolvimento deste estudo; e sinalizo que esta empresa de beneficiamento está ciente de suas responsabilidades, de seu compromisso no resguardo da segurança/ bem-estar dos sujeitos da pesquisa, dispondo de infraestrutura necessária para a garantia de tais condições.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de \_\_\_\_.

---

*Assinatura do responsável pela empresa*



## APÊNDICE E

### TERMO DE COMPROMISSO E CONFIDENCIALIDADE



**Título do projeto:** Pegada Hídrica, Avaliação do Ciclo de Vida e Sistema SAFA como estratégia de análise da sustentabilidade do cultivo de arroz no baixo São Francisco Sergipano

**Pesquisador responsável:** Camilo Rafael Pereira Brandão

**Instituição/Departamento de origem do pesquisador:** Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente

**Telefone para contato:** (75) 98873-9183

**E-mail:** camilorafael@academico.ufs.br

O pesquisador do projeto acima identificado assume o compromisso de:

- Cumprir os termos da resolução nº 466/12, de 12 de dezembro de 2012 e da resolução nº 510/16, de 07 de abril de 2016 do Conselho Nacional de Saúde, do Ministério da Saúde e demais resoluções complementares à mesma (240/1997, 251/1997, 292/1999, 304/2000, 340/2004, 346/2005 e 347/2005).
- Garantir que a pesquisa só será iniciada após a avaliação e aprovação do Comitê de Ética e Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da Universidade Federal de Sergipe
- Zelar pela privacidade e pelo sigilo das informações, que serão obtidas e utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa;
- Garantir que os materiais e as informações obtidas no desenvolvimento deste trabalho serão utilizados apenas para se atingir o(s) objetivo(s) previsto(s) nesta pesquisa e não serão utilizados para outras pesquisas sem o devido consentimento dos participantes;
- Garantir que os benefícios resultantes do projeto retornem aos participantes da pesquisa, seja em termos de retorno social, acesso aos procedimentos, produtos ou agentes da pesquisa;
- Garantir que os resultados da pesquisa serão tornados públicos através de apresentação em encontros científicos ou publicação em periódicos científicos, quer sejam favoráveis ou não, respeitando-se sempre a privacidade e os direitos individuais dos participantes da pesquisa;
- Garantir que o CEP-UFS será comunicado da suspensão ou do encerramento da pesquisa por meio de relatório apresentado anualmente ou na ocasião da suspensão ou do encerramento da pesquisa com a devida justificativa;
- Garantir que o CEP-UFS será imediatamente comunicado se ocorrerem efeitos adversos, resultantes desta pesquisa, com o voluntário;
- Assegurar que os resultados da pesquisa serão anexados na Plataforma Brasil, sob a forma de Relatório Parcial e Relatório Final da pesquisa.

Aracaju, 07 de dezembro de 2021

---

(Assinatura do Pesquisador responsável)



## APÊNDICE F

### ORIENTAÇÕES SEGURANÇA COVID-19 (SARS-CoV-2)



A COVID-19 é uma doença causada pelo novo coronavírus, denominado de SARS-CoV-2 no qual apresenta um espectro clínico que varia entre infecções assintomáticas e quadro graves. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), cerca de 80% dos pacientes com COVID-19 podem ser assintomáticos ou oligossintomáticos e, aproximadamente, 20% dos casos detectados requerem atendimento hospitalar por apresentarem dificuldade respiratória, dos quais 5% podem necessitar de suporte ventilatório.

Medidas obrigatórias são necessárias para a prevenção de propagação do coronavírus, neste estudo, na etapa de campo serão seguidas as seguintes medidas de biossegurança para segurança do pesquisador e dos atores sociais envolvidos:

- Uso de máscaras de proteção durante toda a etapa de coleta de dados respeitando o tempo máximo e realizando a troca sempre que necessário;
- Uso de álcool em gel;
- Respeito ao limite de distanciamento social recomendada pela Organização Mundial de Saúde.



## APÊNDICE G



### ARTIGOS DE REVISÃO UTILIZADOS PARA ESCOLHA DAS CATEGORIAS (2009 A 2024)

Referencia	Revista	País	Un. Funcional	Fronteiras	Categorias de impacto	Base de dados
Blengini et al., (2009)	Journal of Environmental Management	Italia	1 kg	Berço ao túmulo	ENR, GWP, DCO, PA, PE, EA,	SimaPro 7, Ecoinvent
Wang et al., (2010)	International Journal of Sustainable Development e world ecology	China	1 ton	Berço ao portão	GWP, EA, MC, PA, PE	-
Khoshnevisan et al., (2014)	Science of the total environment	Irã	1 ton	Berço ao portão	AD, PA, PE, GWP, DCO, TH, EAM, ET, OF	SimaPro V7.1, CML 2 baseline 2000
Mohammadi et al., (2015)	Journal of Cleaner Production	Irã	1 kg	Berço ao portão	GWP, PA, PE, EENR, EA	-
Hokazono et al., (2015)	LCA for agriculture	Japão	1 ton	Berço ao portão	GWP, PA, PE, EENR	SimaPro 7.3, CML 1992
Frischknecht (2016)	Journal Life Cycle Assess	China, India, US	1 kg	Berço ao túmulo	GWP, TH, PA, PE, EENR	Ecoinvent data v2.2. Agrifootprint database
Ariyaratna (2016)	Institute of electrical and electronics engineers	Sri Lanka	6.8 ton	Portão ao Portão	MC, DCO, ET, EAA, EM, OF, FMP, ET, RI, DM, EF	SimaPro 8.0, ReCiPe mid-point
Nunes et al., (2016)	Journal of Cleaner Production	Brazil	1kg	Berço ao portão	GWP	SimaPro 8.0.3.14, ECOINVENT 2.2
He et al., (2017)	Journal of Cleaner Production	China	1 ton	Berço ao portão	GWP, PA, PE, TH, PTS	-

Nunes et al., (2017)	Journal of Cleaner Production	Brazil	1kg	Berço ao título	GWP, PA, PE, TH, EAA, EM, AD, OF, DCO, ET	SimaPro 8.1.6, CML 2001, Ecoinvent 2.2 e 3.0
Yodkhum et al (2017)	Journal of Environmental Management	Irã	1kg	Berço ao portão	DCO, MC	IPCC
Palesaraei et al., (2018)	Science of the Total Environment	Irã	1 ton	Berço ao portão	PA, AD, ET, OF, PE, DCO, TH, EAA, EM, GWP	Ecoinvent 2.2
Jekayinfa et al., (2018)	Evento (Simpósio internacional)	Nigéria	1 kg de arroz	Berço ao título	ENR, AG, PA, PE	-
Palesaraei et al., (2018)	Science of the Total Environment	Irã	1 ton de arroz	Berço ao título	TS, OF, PE, AG, TH, TA, TM	-
Kamalakkannan (2018)	Evento (conferencia)	Sri Lanka	1 kg de arroz	Portão ao portão	CS, DA, DB, MC, DCO, TS, ENR, TA, TM	ECO Indicator 99 Method; IPCC GWP 100a
Amarante et al., (2018)	Journal of Agriculture and Environment for International Development	Cuba	40.000 ton	Berço ao portão	OT, MC, EF, EAA, PE, TH, RI, EM, DM, DCO, FMP, OF, TE, EA	ReCiPe Mindpoint/Endpoint
Houshyar et al., (2019)	Ecological Indicators	Irã	1 kg	Berço ao portão	PA, PE, EF, TH, EAA, EM, OF, GWP, LO	CML 2002 baseline, SimaPro 8
Masuda (2019)	MDPI - Sustainability	Japão	1 ha	Berço ao portão	GWP, PA, PE, EENR	Data Envelopment Analysis
Amirahmadi (2019)	MDPI - sustainability	Irã	1 ton	Berço ao portão	MC, TH, EF	ReCiPe 2016 Mindpoint (H), Agribalyse v1.2/v1.3, Ecoinvent V.3.5, openLCA V.11
Rahman et al., (2019)	Journal of Cleaner Production	Malásia	1 ton	Berço ao portão	GWP, PA, PE, TH	IPCC

Alam et al., (2019)	Journal of Cleaner Production		1 ton	Berço ao portão	GWP	-
Munkung et al., (2019)	Journal of Cleaner Production	Tailandia	1 kg	Berço ao portão	GWP	IPCC
Habibi et al., (2019)	Environmental Monit Assesement	Irã	1 ton	Berço ao portão	MC, PAG, PA, PE, EM, LO, EA, DM, GWP	ReCiPe 2016, Ecopoint 97 methods in SimaPro 8.2.3
Houshyar et al., (2019)	Ecological Indicartos	Iran	1 kg de arroz	Berço ao túmulo	PDA, ENR, PA, PE, AG, TH, TS, OF, TA, TM	-
Dastan et al., (2020)	Journal of Geosciences	Irã	1 ton	Berço ao portão	GWP, EERNR, TA, PE, ME, EA	ReCiPe 2016, Ecopoints 97 e SimaPro 8.2.3
Liu et al., (2020)	Sciente of the total environment		1 kg	Berço ao túmulo	GWP, MC	EPIC model
Munkung et al., (2020)	MDPI - Sustainability	Tailandia	1 ha	Berço ao portão	GWP, TA, EA, ET, EAA	ReCiPe 2016 Mindpoint v1.02
Hung et al., (2020)	Capítulo de livro (Elsevier)	Filipinas	1 ha de arroz	Berço ao portão	MC, DCO, OS, PE, TM	SIMAPRO, Ecoinvent database 3.0, GWP 100a
Morandini (2020)	International Journal of Plant Production	Iran	1 ton de arroz	Berço ao portão	MC, AT, TA, TM, DCO, EA, ERM, ENR, TH, TS, OS	SimaPro8.2.3
Leon et al., (2021)	Journal of Cleaner Production	Vietnam	1 ha	Berço ao portão	GWP, GHG	IPCC, SimaPro 9, Ecoinvent and the MilCA - IDEA
Chen et al., (2021)	Journal of Cleaner Production	China	1 ha	Berço ao portão	EENR, EA, GWP, PE, PA, AT, EAA, TH	CML 2001
Jirapowaree et al., (2021)	Journal of Cleaner Production	China	1 kg	Berço ao portão	GWP, GHG	-
Sàez (2021)	Universitat Politècnica de valència	Espanha	1 kg de arroz	Berço ao portão	AG,TA, TM, MC, TS, TH	ReCIPE 2016

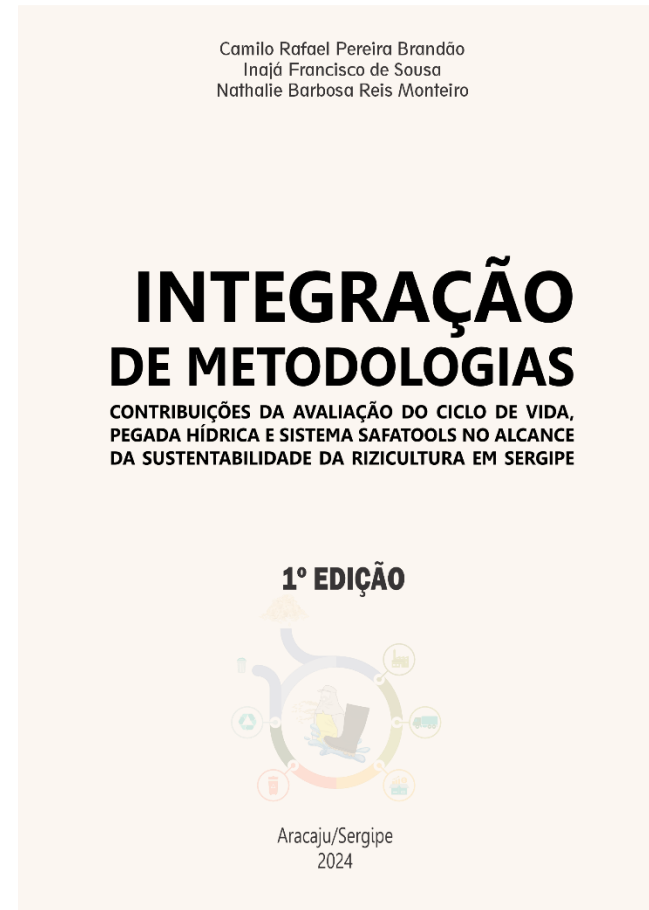
Gadotti (2022)	Universidade Federal de Pelotas	Brasil	-	Portão ao portão	PE, OF, OS, TM, TA, TH, DCO, AG, DA	OpenLCA (CML-IA baseline versão 3.0)
Giuliana (2022)	International Journal of Life Cycle Assessment	Itália	1 hectare	Berço ao portão	MC, DCO, RI, TS, TA, TH, CS, OS, ENR, EA, ERM	ReCIPE 2016 Mindpoint (H) and PCA with R software, CML 2001
Amirahmadi (2022)	MDPI - Sustainability	Iran	1 ton de arroz seco	Berço ao portão	CS, RI, DCO, ENR, ERM, EA, PE, OS, EM, EA, AT, AG	ReCiPe 2016 Mindpont (H), Agribalyse v1.2/v1.3 and Ecoinvent V3.5 and openLCA V.11
Escobar (2022)	Journal of Environmental Management	Senegal	1kg	Berço ao portão	MC, TA, EAD, TH, CS, ERM, TM, AT, EA.	Ecoinvent 3.6 / GaBi
Masuda (2023)	Sustainability	Japan	1 ha	Berço ao portão	-	agricultural management handbook
Mahmood et al., (2023)	Environmental Reserach	Tailandia	1 ton	Berço ao portão	MC, TA, EA, ENRR, DCO, FMP, EF,	Ecoinvent v 3.0, Agri-footprint v. 5.0, SimaPro 9. 2.02
Paramesh et al., (2023)	MDPI - Land	India	1 ha	Berço ao portão	GWP, MC	IPCC, SimaPro 9.1
Estante et al., (2023)	Philippine Journal of Crop Science	Filipinas	1 ha	Berço ao portão	GWP, MC	SimaPro, IPCC
Aswin et al., (2023)	Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment	Indonésia	1 kg	Berço ao túmulo	PA, PE	Excel em tabelas, diagramas e gráficos.

Paramesh (2023)	MDPI – Land	Índia	1 ha	Berço ao portão	AG, AT, PE, TS, TA, TH, ERM, ENR	ReCiPe 2016 Mindpoint; Ecoinvent 3
Yu Wang (2024)	MDPI - Agronomy	China	1 ha	Berço ao portão	MC, EU, TA, TS	eFootprint system
Firmino (2024)	Revista AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales	Brasil	1 saca de arroz branco	Portão ao portão	AG, PA, PE, OS, TM, TH, TA, DA, OF, ET, DCO	Ecoinvent (CML 2001)
Potencial de Acidificação (PA), Potencial de toxicidade aquática (PTA), Potencial de Eutrofização (PE), Ecotoxicidade Aquática de Água Doce (EAA), Potencial de Aquecimento Global (PAG), GWP para um horizonte temporal de 100 anos (GWP), Toxicidade Humana (TH), Ocupação de Terra (OT), Ecotoxicidade Aquática Marinha (EAM), Esgotamento de energia não renovável (EENR), Destruição da Camada de Ozônio (DCO), Oxidação Fotoquímica (OF), Depleção Abiótica (AD), Potencial de toxicidade do solo (PTS), Ecotoxicidade Terrestre (ET), Esgotamento de Água (EA), Mudanças Climáticas (MC), Depleção de Metal (DM), Esgotamento Fóssil (EF), Formação de Material Particulado (FMP), Radiação ionizante (RI), Ocupação de terras agrícolas (OTA), Toxicidade cancerígena humana (TCH), Toxicidade não cancerígena humana (TNCH), Escassez de recursos minerais (ERM), Ecotoxicidade de Sedimentos Marinhos (ESM), Ecotoxicidade de Sedimentos de Água Doce (ESA), Acidificação terrestre (AT).						



## APÊNDICE H

### CARTILHA DE INTEGRAÇÃO DAS METODOLOGIAS APLICADAS A CADEIA PRODUTIVA DO ARROZ



# INTEGRAÇÃO DE METODOLOGIAS

CONTRIBUIÇÕES DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA,  
PEGADA HÍDRICA E SISTEMA SAFATOOLS NO ALCANCE  
DA SUSTENTABILIDADE DA RIZICULTURA EM SERGIPE

**Universidade Federal de Sergipe - UFS**  
**Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento  
e Meio Ambiente - PRODEMA**

## ORGANIZADORES

Camilo Rafael Pereira Brandão  
Inajá Francisco de Sousa  
Nathalie Barbosa Reis Monteiro

## PROJETO GRÁFICO

Camilo Rafael Pereira Brandão  
Freepik

## REVISÃO TEXTUAL

Camilo Rafael Pereira Brandão  
André Vinícius Bezerra de Andrade Silva

## LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

Camilo Rafael Pereira Brandão



## APOIO



UNIVERSIDADE  
FEDERAL DE  
SERGIPE



**GPFIMA**  
GRUPO DE PESQUISA FORMAÇÃO  
INTERDISCIPLINAR E MEIO AMBIENTE



# INTRODUÇÃO

Caro Leitor,

É com grande satisfação que apresentamos esta cartilha informativa, especialmente elaborada para você, protagonista essencial na agricultura sergipana. Reconhecendo a importância de práticas sustentáveis e o impacto positivo que elas podem ter na atividade do arroz, abordaremos temas cruciais no desenvolvimento e na preservação do meio ambiente.

Neste material, vamos explorar três tópicos fundamentais: a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a Pegada Hídrica do beneficiamento do arroz e o Sistema SAFA de acordo com as normativas da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO). Nosso objetivo é fornecer informações relevantes sobre as práticas realizadas visando contribuir com tomadas de decisões para uma agricultura mais sustentável e eficiente. Avaliando o ciclo de vida de suas práticas agrícolas, compreendendo a Pegada Hídrica (PH) do beneficiamento do arroz e implementando o sistema SAFA que são passos importantes para garantir a produtividade, a rentabilidade e a preservação dos recursos naturais nas propriedades agrícolas que cultivam arroz no baixo São Francisco sergipano.

Esperamos que esta cartilha seja uma ferramenta útil e inspiradora, contribuindo para o seu sucesso e para a construção de um futuro mais sustentável para todos

Atenciosamente,

**Camilo Rafael Pereira Brandão**

Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA  
Universidade Federal de Sergipe - UFS

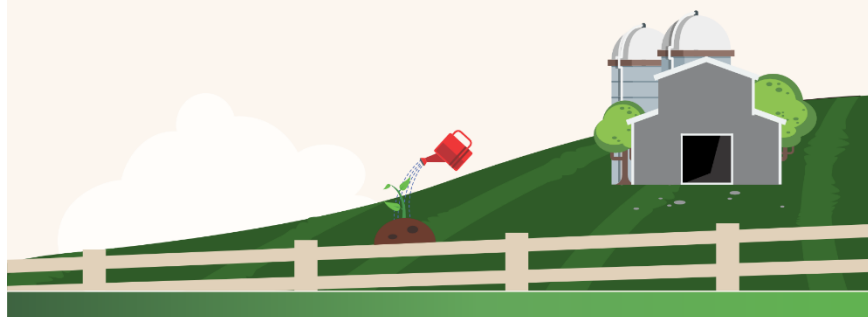


Ao longo desta cartilha, contaremos com o auxílio de um personagem muito especial, o **Senhor Arroz!** Ele dedicou seu ciclo de vida ao estudo e prática de uma agricultura mais sustentável.



“Olá, amigos agricultores! Eu sou o Senhor Arroz, e é um prazer estar aqui com vocês. Com muitos anos de experiência nos campos e um profundo amor pela terra, estou aqui para compartilhar meu conhecimento sobre práticas agrícolas sustentáveis”.

Com o Senhor Arroz ao seu lado, você estará mais preparado para adotar práticas agrícolas em harmonia com o meio ambiente. Vamos juntos nesta jornada de aprendizado, visando uma agricultura familiar mais forte, resiliente e sustentável.



## PROMOVENDO A SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA A PARTIR DOS OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Nossa jornada rumo à agricultura sustentável e para a prosperidade se inicia com a compreensão e a adoção dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2 e 12. Esses objetivos não são apenas diretrizes globais, mas também guias essenciais para o seu sucesso e o bem-estar da sua comunidade.

02

Fome Zero



ODS 2- Fome Zero e Agricultura Sustentável, é um chamado para garantir que todos tenham acesso a alimentos nutritivos e saudáveis, ao mesmo tempo que promove práticas agrícolas que respeitam o meio ambiente. Para a agricultura familiar, isto significa cultivar sua terra de forma responsável, utilizando técnicas que preservem o solo e minimizem o uso de produtos químicos prejudiciais.

ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis, destaca a importância de produzir e consumir de maneira sustentável, evitando o desperdício e respeito os limites do planeta. Para a agricultura familiar, é importante a adoção de práticas que reduzam o desperdício de recursos naturais, como água e energia, promovendo a comercialização de alimentos frescos e saudáveis.



“Ao abraçar os ODS 2 e 12, você contribui para a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental, fortalecendo sua comunidade e garantindo um futuro melhor para as próximas gerações!”

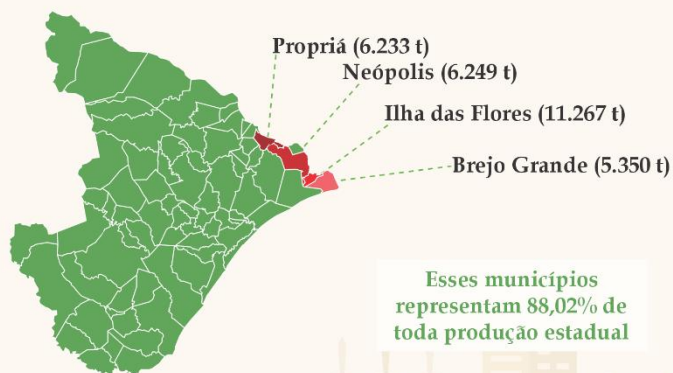


### CULTIVO DE ARROZ NO BAIXO SÃO FRANCISCO (BSF) SERGIPANO

O arroz é uma das principais culturas que alimentam a população mundial, com evidências de seu cultivo com registros de mais de 6.500 anos. Seu desenvolvimento ocorreu simultaneamente em várias regiões do mundo.

No baixo São Francisco, este grão destaca-se devido sua importância na geração de renda. Sergipe possui um perfil promissor na produção de arroz, destacando-se a região do BSF.

**Família:** Poaceae  
**Gênero:** *Oryza*  
**Espécie:** *Oryza sativa* L.  
**Subespécie:** Indica e Japônica



Mapa do Estado de Sergipe

### CULTIVO E BENEFICIAMENTO DE ARROZ EM SERGIPE: UMA TRADIÇÃO EM BUSCA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Em Sergipe, a terra é abençoada pelas águas do rio São Francisco e o cultivo de arroz é mais que uma atividade agrícola, é uma tradição na história e na cultura do Estado. Nos arrozaís que se estendem em pequenos lotes individuais, mas com grande extensão em conjunto, os agricultores familiares trabalham arduamente na garantia do sustento e da prosperidade comunitária.

O cultivo de arroz é marcado por técnicas convencionais de cultivo e pelas inovações dos avanços proporcionados pela ciência agrícola. No centro do debate atual, se encontra a produção sustentável a partir de práticas agrícolas compatíveis com o uso dos recursos naturais, minimizando o impacto no meio ambiente..

No beneficiamento do arroz, a usina da região demonstra compromisso com a qualidade e a excelência do processo. Com equipamentos que garantem a boa qualidade de cada grão de arroz processado, ofertando aos consumidores um produto de qualidade com a cara do Estado.

Figura 1. Cultivo e colheita de arroz em Sergipe



Fonte: autores (2024).

## GERENCIAMENTO DA PEGADA HÍDRICA (PH) NA AGROINDÚSTRIA DO ARROZ

Como parte vital da agroindústria do arroz, é crucial compreender e gerenciar a PH. Esta refere-se à quantidade total de água utilizada nas etapas de processamento do grão.

No cultivo de arroz a água desempenha um papel essencial, sendo utilizada principalmente no sistema de irrigação. É importante adotar práticas de manejo da água que minimizem o desperdício e otimizem o uso desse recurso precioso. Isto pode incluir o uso de técnicas de irrigação eficientes.

Além disso, no beneficiamento do arroz, é fundamental implementar medidas para reduzir o consumo de água durante o processamento. Isso pode envolver a instalação de tecnologias mais eficientes, como sistemas de reciclagem de água e a adoção de práticas de limpeza que minimizem o uso de água.

Ao gerenciar sua PH de forma responsável, a contribuição não é apenas para conservação dos recursos hídricos, mas também na sustentabilidade agrícola.



“O conceito de **Pegada Hídrica (PH)** foi proposto por Arjen Y. Hoekstra em 2002. Consiste em um indicador dos usos diretos e indiretos da água doce, e mostra os volumes de consumo por fontes, assim como os tipos de poluição!”

### Esta ferramenta é composta por três componentes:



**PHazul**

Consumo de água superficial e subterrânea ao longo de toda cadeia produtiva. Ex: água captada para irrigação dos lotes de cultivo de arroz.



**PHverde**

Consumo de água de chuva sem escoamento, armazenada no solo ou na vegetação.



**PHcinza**

Volume de água doce necessária para assimilar a carga de poluentes a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água.

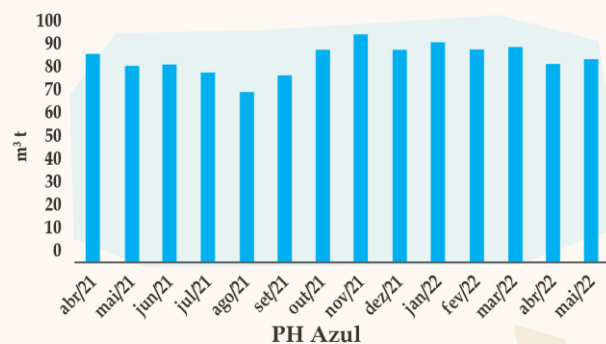
Na agroindústria só foram quantificados dois componentes, a água azul e cinza.



A água utilizada na agroindústria é captada diretamente do sistema de distribuição no município de Telha - SE, incorporando o valor de água consumida na caldeira durante todo o ciclo de beneficiamento nos meses de funcionamento da empresa, determinada através da diferença entre o volume total de água captado e o volume de efluente devolvido ao sistema de esgotamento sanitário.



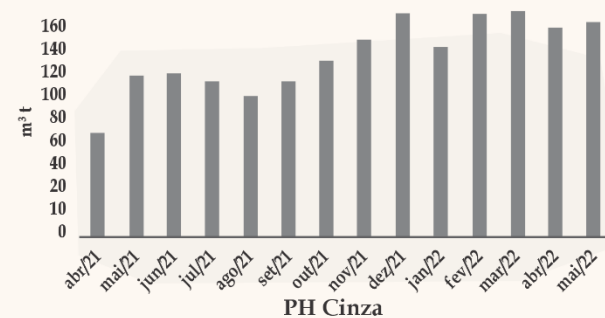
A PH empresarial azul é o volume total de água doce utilizada de forma direta e indireta para o seu funcionamento e manutenção, resultado da soma das pegadas hídricas dos produtos da empresa.



A **PHazul** contribui com 42% no processo de beneficiamento do arroz, com demanda crescente, fato que está ligado ao crescimento no beneficiamento entre os meses estudados de 2021 a 2022, destacando-se maior consumo no mês de novembro de 2021.



A PH empresarial cinza é o volume total de água doce utilizada na agroindústria e o volume de efluentes gerados com dados referentes a Demanda Química de Oxigênio (DBO) e as concentrações de poluentes.



A **PHcinza** contribui com 58% no processo de beneficiamento do arroz, com demanda crescente, fato ligado ao aumento de água azul no processo, com potencial impacto no corpo hídrico receptor. A PH média da empresa por tonelada de arroz beneficiado é de 4.887,51 m³ t<sup>-1</sup>, acima da média global, que foi de 1597 m³ t<sup>-1</sup> quantificada por Chapagain e Hoekstra (2010) entre 2000 - 2004 para diferentes países. Os valores diferem devido as diferenças regionais e de clima dos locais de análise.



## AValiação DO CICLO DE VIDA (ACV) NA AGRICULTURA

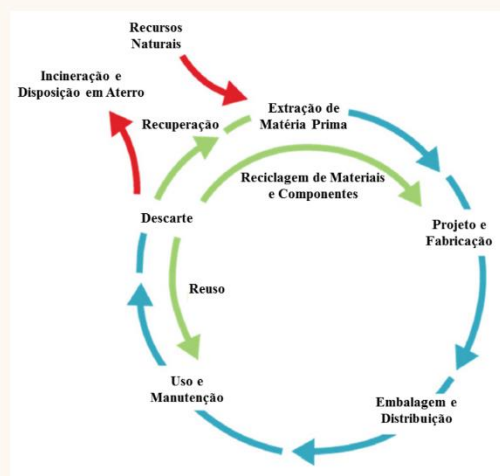


### Vamos entender o que vem a ser a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)?

“A ACV é uma ferramenta que ajuda a quantificar os impactos ambientais de um produto ou processo ao longo de sua vida útil. Na agricultura ela avalia todas as etapas, desde a produção de insumos (como fertilizantes e sementes), até seu consumo final!”.

O ciclo de vida de um produto se inicia com a extração de matérias-primas, recursos naturais e a geração de energia. Em seguida, ocorrem as etapas de produção, embalagem, distribuição, uso, manutenção e, eventualmente, reciclagem, reutilização, recuperação ou disposição final (Figura 2).

Figura 2. Diagrama de ciclo de vida de um produto



Fonte: Adaptado de Life Cycle Initiative (2015).

### Etapas da ACV (Figura 3).

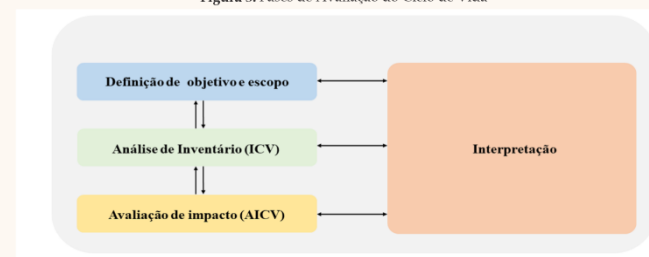
**Definição de Objetivo e Escopo:** Determinar o que será avaliado e a extensão do estudo. Por exemplo, aqui foi analisado o impacto ambiental da produção de arroz da região do BSF.

**Inventário do Ciclo de Vida (ICV):** Coletar dados sobre todos os insumos e processos envolvidos na produção agrícola. Por exemplo, consumo de sementes, uso de fertilizantes e pesticidas, consumo de água, energia e diesel.

**Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV):** Analisar os dados coletados para determinar os impactos ambientais. Por exemplo, a poluição do ar, da água, degradação do solo e as mudanças climáticas.

**Interpretação:** Identificar nos resultados obtidos possíveis melhorias ambientais, comparando com outros trabalhos científicos específicos da área.

Figura 3. Fases de Avaliação do Ciclo de Vida



Fonte: Adaptado de Life Cycle Initiative (2015).

Na agricultura, a ACV é importante para a sustentabilidade, contribuindo na promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, assim como na eficiência no uso dos recursos naturais e na tomada de decisões baseada em evidências por parte dos agricultores, órgãos governamentais e empresas.

As categorias de impactos analisadas estão de acordo com o método CML baseline. A descrição de cada categoria e seus impactos ambientais estão listados abaixo.



“O método **CML Baseline** é uma abordagem específica para realizar análises de ACV, desenvolvida pela Universidade de Leiden, na Holanda. É amplamente usada para categorizar e quantificar os impactos ambientais. O método se baseia em uma série de categorias de impacto que são avaliadas ao longo do ciclo de vida de um produto ou serviço!”.

**Aquecimento Global (Global Warming):** Mede as emissões de gases de efeito estufa que contribuem para o aquecimento global, geralmente expressas em equivalentes de CO<sub>2</sub>.

**Depleção da Camada de Ozônio:** Avalia as substâncias que contribuem para a destruição da camada de ozônio, geralmente expressas em equivalentes de CFC-11 (triclorofluorometano).

**Acidificação:** Refere-se ao impacto de substâncias que contribuem para a acidificação do solo e da água, como dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), geralmente expressas em equivalentes de SO<sub>2</sub>.

**Eutrofização:** Mede os nutrientes que contribuem para o crescimento excessivo de algas em corpos d'água, causando desequilíbrio ecológico, geralmente expressas em equivalentes de fósforo.

**Depleção de Recursos:** Avalia a utilização de recursos não renováveis, como minerais e combustíveis fósseis.

**Ecotoxicidade:** Avalia o potencial de substâncias químicas que podem causar danos aos ecossistemas, incluindo ecotoxicidade aquática e terrestre.

**Formação de Oxidantes Fotoquímicos:** Mede a formação de ozônio troposférico, problemas respiratórios.

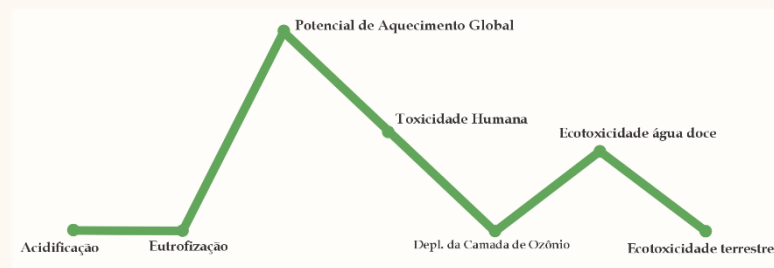
## AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA NA AGROINDÚSTRIA DO ARROZ: COMPREENDENDO OS IMPACTOS AMBIENTAIS



“Na agroindústria do arroz, compreender os impactos ambientais de nossas práticas é fundamental para promover uma produção mais sustentável e responsável. A ACV permite analisar o ciclo completo de vida do arroz, desde o plantio até o consumo, identificando áreas onde podemos melhorar e reduzir nosso impacto no meio ambiente!”.

O método utilizado **CML baseline** permitiu avaliar as diversas categorias de impacto, incluindo a depleção dos recursos naturais, emissões de gases de efeito estufa (GEE), acidificação do solo e da água, dentre outros.

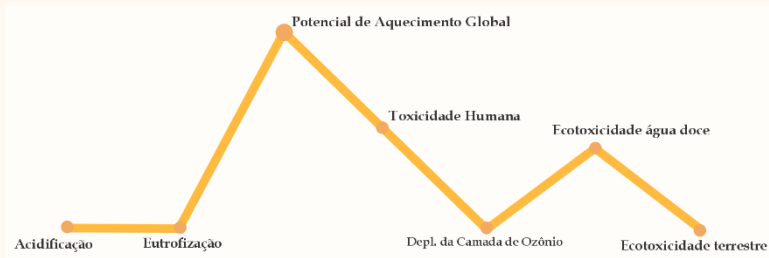
Para a etapa de cultivo do grão, apresentamos os resultados simplificados dos diferentes impactos ambientais.



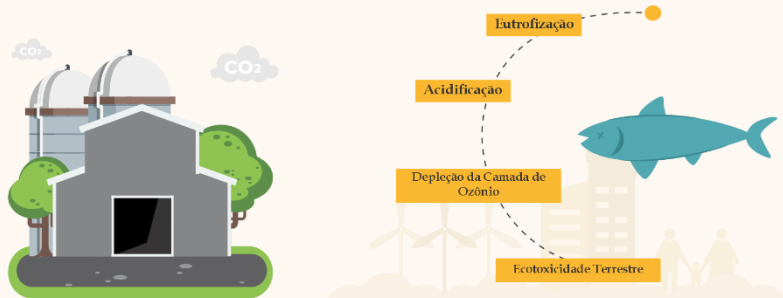
O maior impacto é referente ao **potencial de aquecimento global**, na qual a maior contribuição foi de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) proveniente do transporte devido a produção e consumo de Diesel, assim como, nos impactos da **toxicidade humana** devido a produção e consumo de fertilizantes e produtos químicos. Por fim a **ecotoxicidade de água doce** é resultante das substâncias tóxicas que afetam diretamente os ecossistemas aquáticos.



Para a etapa de beneficiamento do arroz, apresentamos os resultados simplificados dos diferentes impactos ambientais, com semelhanças ao comportamento da fase agrícola.



O maior impacto deste sistema refere-se ao **potencial de aquecimento global**, com maior destaque para as emissões dos veículos utilizados para transporte do grão até a usina de beneficiamento, assim como, do transporte das embalagens utilizadas na etapa de empacotamento do kg de arroz beneficiado. A **toxicidade humana** aqui está associada ao alto consumo de Diesel durante as etapas, com impactos ao solo, água e ar. Por fim, a **ecotoxicidade de água**, doce com impactos de substâncias tóxicas na água doce, afetando os ecossistemas aquáticos.



### SISTEMA SAFA DA FAO PARA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL



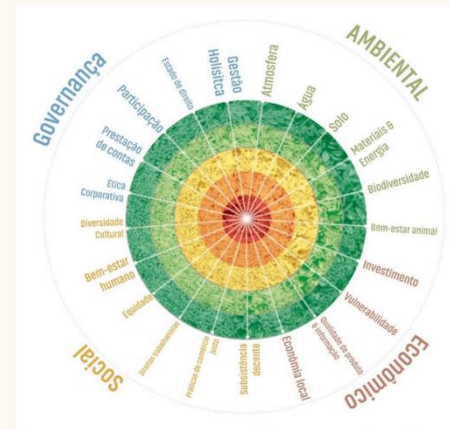
#### Agora vamos entender que é o SAFA?

“O SAFA (Sustainability Assessment of Food and Agriculture systems), ou Avaliação de Sustentabilidade dos Sistemas de Alimentares e Agrícolas, é uma iniciativa da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO). Este sistema ajuda a avaliar e melhorar a sustentabilidade das práticas agrícolas e dos sistemas alimentares!”.

OSAFA oferece uma maneira de entender e melhorar a sustentabilidade, garantindo a saúde do ambiente, da economia e da sociedade.

Está disposto em quatro dimensões. sendo estas: boa governança (G), integridade ambiental (A), resiliência econômica (R) e bem-estar social (B). Se encontram agrupados em 21 temas e 58 subtemas que se dividem em 116 indicadores mensuráveis (Figura 4).

Figura 4. Modelo holístico SAFA



Fonte: FAO (2014).

Vamos entender cada uma dessas dimensões aplicadas em fazendas de arroz na região do baixo São Francisco sergipano.

**Governança** → Promoção de boas práticas de gestão e governança. Ex: Seguir todas as leis e regulamentos aplicáveis, assim como, manter a transparência nas operações e na comunicação.

**Ambiental** → Proteger e melhorar o meio ambiente. Ex: Uso eficiente da água, assim como, a conservação do solo e a biodiversidade.

**Econômico** → Garantir que a atividade agrícola seja economicamente viável. Ex: Gestão financeira, assim como, o acesso a mercados e inovação na vendas para garantir de retorno econômico.

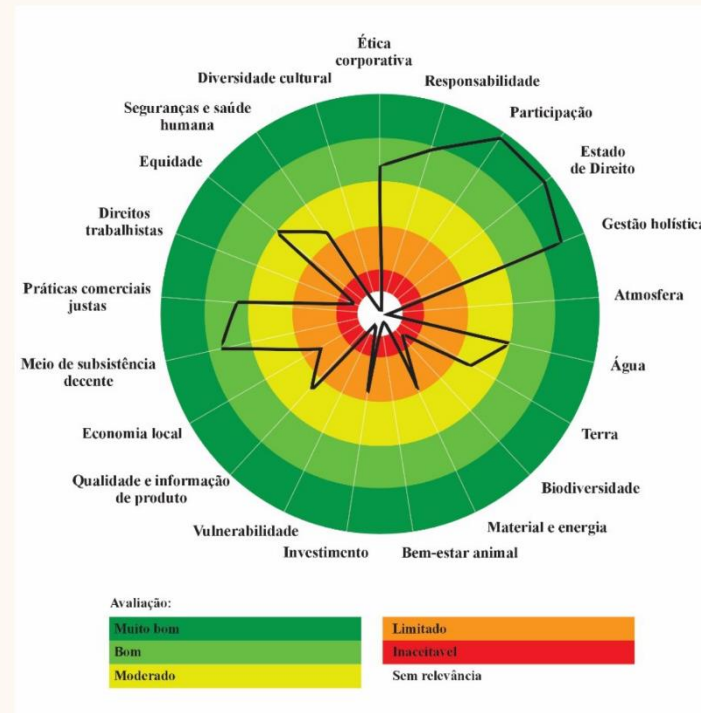
**Bem-estar social** → Melhorar a qualidade de vida dos agricultores e da comunidade. Ex: Bem-estar dos trabalhadores, assim como, envolvimento da comunidade, educação e treinamentos.

Pequenos agricultores enfrentam desafios como as mudanças climáticas, degradação do solo e escassez de água. O SAFA oferece uma maneira de entender e melhorar a sustentabilidade, garantindo a saúde do meio ambiente, da economia e da sociedade.



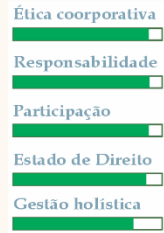
“O software fornece três padrões visuais, indicando muito bom (verde escuro), bom (verde claro), necessita de melhora (amarelo), e limitado (vermelho), na qual é possível visualizar os pontos que necessitam de mais atenção. A figura 4 é o gráfico radar da sustentabilidade do cultivo de arroz no BSF, vamos conferir!”

Figura 4. Gráfico radar do nível de sustentabilidade da rizicultura na região BSF.



Fonte: Autores (2024).

### Governança



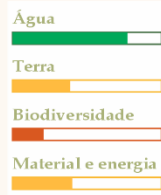
O indicadores de governança foram os melhores avaliados, se encontrando nos melhores níveis.

- **Ética corporativa:** explícita e orienta a missão com todos os funcionários e membros colaborados.
- **Responsabilidade:** bem definida, podendo ser demonstrada com documentos e diálogos internos abertos aos cooperados e rizicultores.
- **Participação:** identifica as partes interessadas e descreve o processo pelo qual foram identificadas.
- **Estado de direito:** inclui as regras e legislações a serem cumpridas, sendo a atividade da rizicultura legítima no BSF.
- **Gestão holística:** propõe uma gestão de melhoria contínua mas que necessita de melhorias voltadas a sustentabilidade dos órgãos.

Os indicadores de integridade ambiental são relevantes devido as práticas a agrícolas da região.

- **Água:** todos os rizicultores possuem conhecimento sobre sua importância e necessidade de conservação, mas necessita de ações de sensibilização para melhor gestão nos lotes irrigáveis.
- **Solo:** é atendido pela análise antes do plantio, mas se encontra limitado de acordo com o SAFA, necessitando de melhorias na sua gestão, minimizando o uso de produtos agroquímicos que são cumulativos e prejudicam o meio ambiente, afetando a produtividade com riscos de contaminar as águas subterrâneas.
- **Biodiversidade:** possui um nível inaceitável na região, este levantamento se dá pelas trocas de atividades na região com o cultivo de camarão, ocasionando a abertura de novos tanques sem o devido licenciamento e impactando diretamente a fauna e a flora local.
- **Material e energia:** é importante devido os diversos fins para as embalagens de produtos químicos utilizados, possuindo nível limitado, com controle dificultado devido a quantidade lotes e o número de funcionários para monitoramento.

### Ambiental



### Econômico



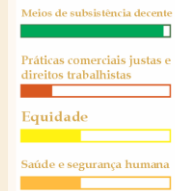
O indicadores de resiliência econômica concentram-se na atividade ligada a mão-de-obra, recursos naturais e capital de produção de bens e serviços.

- **Investimento:** moderado devido a dificuldade de conseguir créditos para investimento nos lotes de produção.
- **Vulnerabilidade:** inaceitável devido a falta de práticas de preço justo que promovam a independência dos rizicultores.
- **Segurança, qualidade de produto:** o nível de sustentabilidade é bom com a produção feita de acordo com as diretrizes para segurança alimentar e qualidade do grão de arroz.
- **Economia Local:** se encontra atualmente moderado com ligação direta com o investimento e a vulnerabilidade associados aos preços praticados no mercado interno e na revenda externa arroz.

Os indicadores de bem-estar social são relevantes no contexto das necessidades humanas básicas e da provisão do direito e liberdade.

- **Meio de subsistência decente:** moderado, bom e muito bom, destacando-se a qualidade de vida referente a jornada de trabalho.
- **Práticas comerciais justas:** destacam-se os órgãos estudados com moderado e bom. Para os agricultores os níveis são inaceitáveis a falta de preços justos para o rizicultores locais.
- **Equidade:** moderado, permitindo compreender a divisão de trabalhos dentro os lotes irrigáveis e o apoio a pessoas vulneráveis em ações pontuais dos órgãos.
- **Saúde e segurança humana:** limitado em sua maioria, necessitando de trabalhos voltados aos lotes de desenvolvimento do arroz, identificando as fragilidades a fim de propor mudanças, com abordagem do uso de EPI's e de limpeza do local de trabalho. Possuindo a cooperativa um ambiente limpo e organizado, assim como o órgão público.

### Bem-estar social



A ACV, desde o cultivo até o beneficiamento do arroz, revela importantes aspectos sobre a sustentabilidade da produção deste alimento essencial. Quando integrada à análise da PH da agroindústria do arroz e ao sistema SAFA da FAO, evidencia que as práticas atuais são insustentáveis ambientalmente e economicamente. Esta cartilha informativa destacou os principais pontos levantados no uso das três ferramentas. Conclui-se que os principais impactos ambientais estão nas emissões de gases de efeito estufa provenientes do consumo de diesel durante o ciclo de vida do grão, assim como, do uso de pesticidas e fertilizantes que contribuem na degradação ambiental, necessitando de práticas mais sustentáveis.

**Os caminhos para a sustentabilidade sugeridos a partir dos assuntos abordados são:**

**Gestão sustentável da água:** práticas de manejo eficiente para redução de captação de água e aproveitamento da quantidade adquirida.

**Redução de emissões:** adoção de práticas agrícolas que minimizem as emissões de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera.

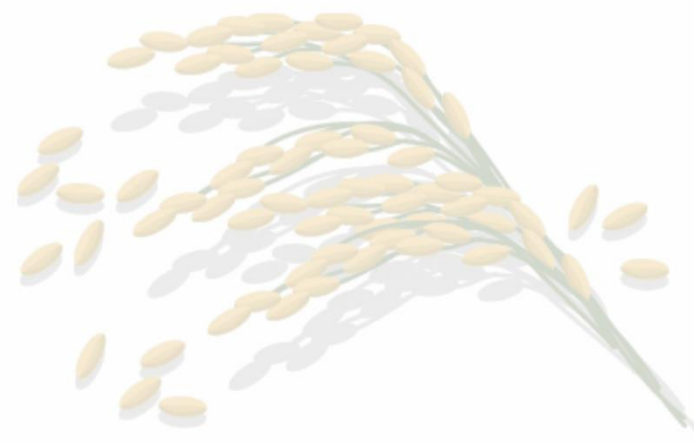
**Uso responsável de insumos:** promoção do uso de fertilizantes orgânicos para redução da dependência de insumos químicos.

**Educação e capacitação:** investimento em programas de educação e capacitação para os agricultores locais sobre práticas agrícolas sustentáveis e modernização dos sistemas de cultivo.

**Apoio político e financeiro:** desenvolver políticas públicas que incentivem a sustentabilidade agrícola e ofereçam apoio financeiro para a transição de práticas mais sustentáveis.



A produção de arroz é fundamental para a segurança alimentar, mas deve ser sustentável para garantir a disponibilidade de recursos naturais e a viabilidade econômica a longo prazo. Ao adotar práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis, os agricultores protegem não só o meio ambiente, mas também asseguram uma produção mais rentável e resiliente!



**PORTARIA Nº 206 DE 4 DE SETEMBRO DE 2018**

O presente trabalho foi realizado com apoio da  
Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de  
Nível Superior - Brasil (CAPES)  
Código de financiamento 001

**Recursos FUNTEC/FAPITEC/SE Edital Nº 04/2021**





**PRODEMA**  
Programa de Pós-Graduação em  
Desenvolvimento e Meio Ambiente



**ANEXOS**

**(I, II, III, IV, V, VI, VII)**

## ANEXO I - CHECKLIST PARA INDÚSTRIA BENEFICIADORA DO ARROZ

		Universidade Federal de Sergipe Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente <b>Checklist de verificação das instalações</b>			
Nome da empresa:		CNPJ:		Responsável Legal:	
Endereço:		CEP:		Município:	
Telefone:	Celular:	E-mail:			
Pesquisador: <b>Me. Camilo Rafael Pereira Brandão</b> Orientador: <b>Inajá Francisco de Sousa</b> Co-orientador: <b>Nathalie Barbosa Reis Monteiro</b>					
Caso necessite de maiores informações, favor ligar para o (a) pesquisador Camilo Rafael Pereira Brandão. Telefone: (75) 98873-9183 ou E-mail: <a href="mailto:camilorafael@academico.ufs.br">camilorafael@academico.ufs.br</a>					
O estudo tem como objetivo <b>“Aplicar a metodologia da Pegada Hídrica (PH) integrada a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o sistema SAFA para a agroindústria do arroz baixo São Francisco”</b> .					

S = SIM

N = NÃO

NA = NÃO SE APLICA

Características gerais do estabelecimento	S	N	NA
Possui alvará sanitário			
Existe separação nos resíduos gerados			

1 – Localização	S	N	NA
1.1 Área externa com pavimentação			
1.2 O arredores possuem gramados, asfaltos ou qualquer outro tipo de material protetor			
1.3 O local é de fácil acesso			
2 - Área externa	S	N	NA
2.1 Apresenta-se em bom estado de conservação			
2.2 Área externa apresenta acúmulo de materiais desativados ou sucatas			
2.3 O local é afastado de fontes de poluição ou contaminação ambiental			

2.4. Possui acesso direto, não comum a outros usos. (ex: habitação)			
2.5 Resíduos provenientes do beneficiamento do arroz são removidos com frequência. Se sim, qual o tempo mínimo? _____			
2.6 Existe proteção contra a entrada de roedores, insetos e outros animais			
2.7 Existe local separado ao descarregamento do arroz recebido			
<b>3 - Área interna</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>
3.1 O espaço é amplo			
3.2 A área interna é livre de objetos em desuso ou estranhos ao meio ambiente			
3.3 O piso possui algum tipo de material apropriado ao tipo de produto fabricado			
3.3 O piso encontra-se em adequado estado de conservação (livre de feitos, rachaduras, trincas, buracos e etc)			
3.4 O teto encontra-se em adequado estado de conservação			
3.5 O teto possui acabamento liso e é de fácil manutenção			
3.6 Existe proteção contra a entrada de roedores, insetos e outros animais			
3.7 As portas e janelas possuem superfície de fácil higienização			
3.8. Existe instalações sanitárias dentro desta área. Se sim, quantos? _____			
3.9 A iluminação é adequada			
3.10 Existe instalações adequadas para matéria-prima, ingredientes e embalagens			
3.11 A ventilação natural e/ou artificial é adequada			
<b>4 – Água</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>
4.1 Rede pública tratada ( ) Poço ( ) Bombas de captação ( ) Outros _____.			
4.2 Possui volume e pressão necessária			
4.3 Existe rachaduras, vazamentos e infiltrações no reservatório?			
4.4 Quais as destinações da água captada? _____.			
<b>5 – Instalações sanitárias</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>
5.1 Dotadas de lavatórios, com acessórios para higienização das mãos (sabonete líquido antisséptico ou			

sabonete líquido e produto antisséptico e toalhas de papel não reciclado)			
5.2 Disponibilidade de lixeiras com saco plástico e tampa com acionamento por pedal			
<b>6 – Matéria-prima e embalagens</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>
6.1 Tem algum critério para avaliação de fornecedores do arroz e das embalagens			
6.2 A recepção e armazenamento do arroz é feita em área independente			
6.3 Sua utilização obedece o tempo de validade do produto <i>in natura</i>			
6.4 Fluxo de produção ordenado com produto final acondicionado em embalagens adequadas e íntegras			
<b>7 - Manejo de resíduos</b>	<b>S</b>	<b>N</b>	<b>NA</b>
7.1 Estocado em local apropriado e isolado da área de preparação e armazenamento do arroz			
7.2 Coleta Municipal ( ) Empresa terceirizada ( )			
7.3 Existe algum tipo de reaproveitamento de resíduos? Se sim, quais? _____			

\* De acordo com a Resolução RDC nº 275, de 2002 da ANVISA; Adaptado da Secretária do Estado de Minas Gerais (2013); Adaptado da Secretário de Estado da Agricultura e da Pesca de Santa Catarina (2014).

## ANEXO II – QUESTIONÁRIO DE COLETA DE DADOS PARA INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA DO SISTEMA AGRÍCOLA CULTIVO DO ARROZ

	Universidade Federal de Sergipe Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente	
Responsável técnico/ agricultor:		
Endereço:		CEP:
		Município:
Telefone:	Celular:	E-mail:
Data da visita:		
Pesquisador: <b>Me. Camilo Rafael Pereira Brandão</b>  Orientador: <b>Inajá Francisco de Sousa</b>  Co-orientador: <b>Nathalie Barbosa Reis Monteiro</b>		
Caso necessite de maiores informações, favor ligar para o (a) pesquisador Camilo Rafael Pereira Brandão. Telefone: (75) 98873-9183 ou E-mail: <a href="mailto:camilorafael@academico.ufs.br">camilorafael@academico.ufs.br</a>		
O estudo tem como objetivo <b>“Aplicar a metodologia da Pegada Hídrica (PH) integrada a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e o sistema SAFA para a agroindústria do arroz baixo São Francisco”</b> .		

### DIAGNÓSTICO DO SISTEMA DE CULTIVO DE ARROZ

1. Idade do plantio \_\_\_\_\_.
  2. Tipo de sistema do cultivo \_\_\_\_\_.
  3. Variedade cultivada \_\_\_\_\_.
  4. De onde vem as sementes distribuídas? \_\_\_\_\_.
  5. Área total cultivada: \_\_\_\_\_ ha.
  6. Tempo médio de plantio \_\_\_\_\_.
  7. Número de agricultores envolvidos no plantio \_\_\_\_\_.
  8. Existe o uso de outra espécie além do arroz? Se sim, qual? \_\_\_\_\_.
  9. Quais as práticas utilizadas no preparo da área antes do plantio?
-

---

---

---

**10.** Realiza alguma prática de correção do solo? Se sim, quais?

---

---

**11.** Quais insumos utilizados?

---

**12.** Quantidade aplicada por área

---

**13.** Realiza adubação orgânica? Se sim, quais e quanto de produto aplicado por área?

---

---

**14.** Alguma atividade mecânica realizada no pré-plantio? Se sim, qual tipo de equipamento utilizado?

---

---

**15.** Horas trabalhadas \_\_\_\_\_.

**16.** Consumo de combustível (caso não tenha informação é possível estimar pelo tipo de equipamento e hora trabalhada) \_\_\_\_\_.

**17.** Quais as práticas utilizadas no momento do plantio?

---

---

**18.** Sobre o adubo de berço, qual utilizado e qual a quantidade aplicada por área?

---

---

**19.** Quais as práticas utilizadas no momento do pós-plantio?

---

---

**20.** Controle de plantas daninhas

( ) Manual. Como é feito? \_\_\_\_\_.

( ) Mecânico. Como é feito? \_\_\_\_\_.

( ) Químico. Qual produto (breve descrição de nome e tipo) e quantidade utilizada.

\_\_\_\_\_

**21.** Manutenção do plantio, como é feita?

\_\_\_\_\_

**22.** Qual tipo de equipamento utilizado. Consome energia/ combustível? Se sim, qual tipo de energia e quantidade.

**23.** Quanto tempo de trabalho diário?

\_\_\_\_\_

**24.** Há ocorrência de pragas ou doenças?

\_\_\_\_\_

**25.** Qual praga ou doença?

\_\_\_\_\_

**26.** Como é feito o controle?

\_\_\_\_\_

**27.** Usa algum produto químico? Se sim, qual o insumo utilizado, sua quantidade e aplicação.

\_\_\_\_\_

**28.** Como é feita a adubação e fertirrigação? Quais os insumos utilizados, sua quantidade e aplicação? Qual tipo de sistema usado?

\_\_\_\_\_

\*Se fertirrigado, como funciona (tempo, tipo de adubo, quantidade)? \_\_\_\_\_

**29.** Existe controle na captação de água para inundação dos sistemas de produção? Qual o consumo de água por hectare?

\_\_\_\_\_

**30.** Como é feita a colheita?

\_\_\_\_\_

**31.** Qual o intervalo de colheita e produtividade por área (média de hectare entre os lotes)?

\_\_\_\_\_

**32.** Onde é armazenado o arroz após colheita?

---

---

---

**33.** Se houver consumo de energia, qual o tipo de energia e os valores de consumo?

---

---

**34.** Qual a empresa de beneficiamento mais próxima?

---

**35.** Qual o custo de transporte da área de produção para a empresa de beneficiamento mais próximo?

---

\*Adaptado de Lins (2018).

### ANEXO III – QUESTIONÁRIO DE COLETA DE DADOS PARA INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA DO BENEFICIAMENTO DO ARROZ

	Universidade Federal de Sergipe Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente	
Nome da empresa:		CNPJ:
Endereço:		Município:
Telefone:	Celular:	E-mail:
Pesquisador: <b>Me. Camilo Rafael Pereira Brandão</b>  Orientador: <b>Inajá Francisco de Sousa</b>  Co-orientador: <b>Nathalie Barbosa Reis Monteiro</b>		
Caso necessite de maiores informações, favor ligar para o (a) pesquisador Camilo Rafael Pereira Brandão. Telefone: (75) 98873-9183 ou E-mail: camilorafael@academico.ufs.br		

<b>INVENTÁRIO GERAL SEMESTRAL</b>								
Tipo/ especificação do produto fabricado	Produção mensal (semestre)						Observação	
	mês 1	mês 2	mês 3	mês 4	mês 5	mês 6		
Produção total beneficiado(Kg)								
Produção total do arroz beneficiado (ton)								
A produção inclui perdas? Se sim, qual o índice?								
<b>DADOS GERAIS DE CONSUMO (MENSAL)</b>								
Fonte de energia							Un	Obs
Item de consumo	mês 1	mês 2	mês 3	mês 4	mês 5	mês 6		
Energia elétrica							kWh	
Gás natural							m <sup>3</sup>	
GLP							Kg	
Diesel							L	
Outras fontes de energia							-	
<b>Água (de acordo com a origem)</b>								

Rede de abastecimento							m <sup>3</sup>	
Poço							m <sup>3</sup>	
Capt. Superficial							m <sup>3</sup>	
Chuva							m <sup>3</sup>	
Caminhão pipa							m <sup>3</sup>	
Reuso							m <sup>3</sup>	
Outras fontes de água							m <sup>3</sup>	

Transporte dos itens de consumo				
Fontes de energia				
Especificação	Origem (cidade/ distância até empresa)	Tipo transporte	Carga viagem	OBS
GLP				
Diesel				
Outras fontes de energia				
Água				
Água – caminhão pipa				

Levantamento da matéria-prima e materiais auxiliares				
Fontes de energia				
Especificação	Origem (cidade/ distância até empresa)	Tipo transporte	Carga viagem	OBS
GLP				
Diesel				
Outras fontes de energia				
Água				
Água – caminhão pipa				

Levantamento da matéria-prima e materiais auxiliares				
Composição beneficiamento do arroz				



(especificar se houver outros matérias)						
<b>Resíduos</b>						
Destinação	Resíduos	Quantidade de retirada/ tempo	Destino (cidade)	Tipo de Transporte	Carga por Viagem	Observação
Aterro sanitário						
Aterro de resíduos inertes						
Aterro industrial						
Incineração						
Reciclagem						
(especificar se houver outro tipo de resíduo)						



<b>Emissões para o ar</b>	
Há algum tipo de emissão direta para o ar decorrente do processo de produção	
Há algum tipo de filtro/ controle de poluente na fábrica?	

<b>Emissões para a água</b>	
Há algum tipo de emissão direta de efluentes do processo de produção?	
Há algum tipo de filtro/ controle de efluentes?	

\*Adaptado de Vinhal (2016).

\* sinalização de categoria a serem incluídas após inventário do questionário semiestruturado com o responsável pela empresa.

## ANEXO IV – QUESTIONÁRIO DE COLETA DE DADOS INDICADORES SISTEMA SAFA

	Universidade Federal de Sergipe Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente <b>Questionários SAFA</b>	
Endereço:		CEP:
Município:		
Telefone:	Celular:	E-mail:
Pesquisador: <b>Me. Camilo Rafael Pereira Brandão</b> Orientador: <b>Nathalie Barbosa Reis Monteiro</b>		
Caso necessite de maiores informações, favor ligar para o (a) pesquisador Camilo Rafael Pereira Brandão. Telefone: (75) 98873-9183 ou E-mail: camilorafael@academico.ufs.br		

**Nome:** \_\_\_\_\_

**Idade:** \_\_\_\_\_

**Escolaridade:** \_\_\_\_\_

**Tamanho do lote:** \_\_\_\_\_

**Sementes:** \_\_\_\_\_

### 1. Integridade ambiental

N.	Pergunta	SIM	NÃO	PRECISA QUANTIFICAR
<b>E.2.1.1</b>	<b>Meta de Conservação de Água:</b> A propriedade possui uma meta para reduzir o consumo de água ou a retirada de água?			
<b>E.2.2.2</b>	<b>Prática de Prevenção da Poluição da Água:</b> Quais atividades e práticas foram implementadas que efetivamente reduziram ou impediram a liberação de poluentes da água?			
<b>E.3.1.1</b>	<b>Práticas de Melhoria do Solo:</b> Atividades e práticas foram implementadas para aumentar a qualidade e fertilidade dos solos?			
<b>E.3.1.2</b>	<b>Estrutura Física do Solo:</b> As condições da estrutura física do solo são boas em relação ao clima local?			

<b>E.3.1.5</b>	<b>Matéria Orgânica do Solo:</b> A qualidade da matéria orgânica do solo é boa em consideração ao clima local?			
<b>E.4.2.4</b>	<b>Diversidade de Produção:</b> O empreendimento possui rotação de culturas diversificada e/ou utiliza várias espécies ao mesmo tempo?			
<b>E.5.3.1</b>	<b>Meta de Redução de Resíduos:</b> A propriedade possui meta na redução da geração de resíduos, bem como a periculosidade desses resíduos?			
<b>E.5.3.3</b>	<b>Descarte de Resíduos:</b> Os resíduos gerados pela propriedade e não segregados possuem ponto de armazenamento/coleta no empreendimento?			

## 2. Resiliência econômica

<b>N.</b>	<b>Pergunta</b>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>	<b>PRECISA QUANTIFICAR</b>
<b>C.1.1.1</b>	<b>Investimento Interno:</b> Em quais atividades e práticas a propriedade investiu nos últimos 5 anos para melhorar e monitorar seu desempenho social, econômico, ambiental e de governança?			
<b>C.1.4.3</b>	<b>Determinação do Preço:</b> A possui um equilíbrio para negociar com o(s) seu(s) comprador(es) o preço de venda em todos os contratos?			
<b>C.2.2.3</b>	<b>Dependência do fornecedor líder:</b> Os insumos vêm do fornecedor líder?			
<b>C.3.1.2</b>	<b>Pesticidas Perigosos:</b> Algum dos funcionários manuseou, armazenou ou usou pesticidas altamente perigosos durante os últimos cinco anos?			
<b>C.3.1.3</b>	<b>Contaminação de Alimentos:</b> Houve algum incidente documentado em que resíduos de pesticidas em ingredientes ou produtos excederam os limites máximos permitidos?			
<b>C.3.2.1</b>	<b>Qualidade Alimentar:</b> A produção atende às normas e padrões de qualidade exigidos?			
<b>C.4.1.1</b>	<b>Força de Trabalho Regional:</b> A propriedade contratou durante os últimos cinco anos funcionários			



	regionais quando habilidades, perfil e condições semelhantes são oferecidos a outros candidatos?			
<b>C.4.1.2</b>	<b>Compromisso Fiscal:</b> A propriedade paga os impostos aplicáveis conforme indicada pela regulamentação local?			

### 3. Bem-estar social

N.	Pergunta	SIM	NÃO	PRECISA QUANTIFICAR
<b>B.1.1.1</b>	<b>Direito à Qualidade de Vida:</b> Todos os produtores primários, pequenos produtores e empregados em empreendimentos de todas as escalas têm tempo para a família, descanso e cultura, e a capacidade de cuidar de suas necessidades, como manter uma dieta adequada?			
<b>B.1.1.2</b>	<b>Nível salarial:</b> Todos os produtores primários que abastecem as propriedades e todos os empregados ganham pelo menos um salário digno?			
<b>B.1.2.1</b>	<b>Desenvolvimento de Capacidades:</b> Os produtores primários e empregados têm oportunidades de aumentar as habilidades e conhecimentos, avançar dentro da propriedade em que trabalham ou construir o futuro de sua própria propriedade?			
<b>B.2.1.1</b>	<b>Preços Justos e Contratos Transparentes:</b> Os compradores, por meio de suas políticas e práticas, reconhecem e apoiam os direitos dos fornecedores (especialmente produtores primários) a preços justos e contratos e acordos justos?			
<b>B.2.2.1</b>	<b>Direitos dos Fornecedores:</b> Os compradores reconhecem e apoiam explicitamente os direitos dos fornecedores (especialmente produtores primários) à liberdade de associação e a negociação coletiva?			
<b>B.3.1.1</b>	<b>Relações trabalhistas:</b> A propriedade ou os subcontratados dos empregados têm acordos escritos com seus empregados que pelo menos atendem aos tratados nacionais e internacionais de			

	trabalho, incluindo a previdência social, ou, para propriedades que são produtoras primárias, pelo menos um entendimento claro baseado em acordo verbal entre empregador e empregados?			
<b>B.4.2.1</b>	<b>Igualdade de Gênero:</b> A propriedade discrimina as mulheres na contratação, remuneração, treinamento e promoção, acesso a recursos ou demissão?			
<b>B.4.3.1</b>	<b>Apoio a Pessoas Vulneráveis:</b> A propriedade acomoda diferentes níveis de habilidade e deficiência, trabalhadores jovens e idosos e fornece recursos à comunidade para apoiar pessoas vulneráveis com serviços sociais e de saúde, treinamento e eventos culturais para mulheres, minorias e pessoas desfavorecidas?			
<b>B.5.1.2</b>	<b>Segurança do Local de Trabalho, Operações e Instalações:</b> A propriedade mantém um local de trabalho seguro, limpo e saudável, incluindo todos os terrenos e instalações, e todas as práticas?			

## ANEXO V – QUESTIONÁRIO DE COLETA DE DADOS INDICADORES SISTEMA SAFA

	Universidade Federal de Sergipe Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente	
Nome da empresa:		CNPJ:
Endereço:		Município:
Telefone:	Celular:	E-mail:
Pesquisador: <b>Me. Camilo Rafael Pereira Brandão</b> Orientador: <b>Inajá Francisco de Sousa</b> Co-orientador: <b>Nathalie Barbosa Reis Monteiro</b>		
Caso necessite de maiores informações, favor ligar para o (a) pesquisador Camilo Rafael Pereira Brandão. Telefone: (75) 98873-9183 ou E-mail: camilorafael@academico.ufs.br		

### 4. Governança

N.	Pergunta	SIM	NÃO	PRECISA QUANTIFICAR
G.1.1.1	<b>Explicitidade da Missão:</b> A missão da propriedade é articulada em todos os relatórios da propriedade e compreendida por todos os funcionários ou membros?			
G.1.1.2	<b>Orientação da Missão:</b> A missão da propriedade é evidente em códigos e políticas, e o órgão de governança pode demonstrar o impacto de sua missão no desenvolvimento de políticas e práticas?			
G.1.2.1	<b>Due Diligence:</b> A propriedade tem uma política clara para avaliação de impacto, ferramentas apropriadas para avaliação e é capaz de mostrar que elas estão sendo usadas para informar decisões que terão impactos de longo prazo na área de sustentabilidade?			
G.2.1.1	<b>Auditoria Holística:</b> A propriedade usa uma estrutura internacionalmente reconhecida para relatórios de sustentabilidade, como a Global Reporting Initiative, ou a auditoria social está sendo usada pela propriedade?			

G.2.2.1	<b>Responsabilidade:</b> A propriedade pode mostrar, por meio de documentos de governança ou diálogo interno, que o desempenho em relação à missão é avaliado regularmente com a contribuição apropriada das partes interessadas?			
G.2.3.1	<b>Transparência:</b> A propriedade tem uma política que exige que a administração relate como as políticas, procedimentos, decisões e processos de tomada decisão são disponibilizados às partes interessadas?			
G.3.1.1	<b>Identificação das Partes Interessadas:</b> A propriedade pode identificar todas as partes interessadas relevantes e descrever o processo pelo qual elas foram identificadas?			
G.3.1.2	<b>Participação dos stakeholders:</b> A propriedade usa mecanismos apropriados para se comunicar com cada grupo de partes interessadas?			
G.3.1.3	<b>Barreiras de Engajamento:</b> A propriedade está ciente e aborda as barreiras à participação de partes interessadas menos poderosas?			
G.3.1.4	<b>Participação efetiva:</b> A propriedade pode descrever a participação real das partes interessadas (incluindo as partes interessadas “menos poderosas”), seu impacto na tomada de decisões e como esse impacto foi comunicado às partes interessadas?			
G.3.2.1	<b>Procedimentos de reclamação:</b> A propriedade pode descrever os procedimentos de reclamação para cada grupo de partes interessadas, como eles são divulgados (especialmente com partes interessadas “menos poderosas”) e seu uso atual?			
G.3.3.1	<b>Resolução de Conflitos:</b> A propriedade pode identificar potenciais conflitos de interesse com e entre vários grupos de partes interessadas e fornece exemplos de resolução por meio do diálogo colaborativo, baseado no respeito, compreensão mútua e igualdade de poder?			
G.4.1.1	<b>Legitimidade:</b> A política da propriedade, ou o código de práticas dos produtores, exige			

	explicitamente que todas as leis e regulamentos aplicáveis, normas voluntárias, adotadas ou existentes, sejam relatadas ao órgão de governança, membros ou funcionários e regularmente revisadas quanto à conformidade e congruência com a missão?			
<b>G.4.2.1</b>	<b>Reparação, restabelecimentos ou compensação:</b> A propriedade pode mostrar evidências de uma resposta rápida e responsável a violações legais, regulatórias, internacionais de direitos humanos e códigos voluntários, incluindo resposta detalhada sobre como a violação foi remediada, como os efeitos da violação serão restaurados ou compensados e as políticas e processos instituídos para evitar novas violações?			
<b>G.4.3.1</b>	<b>Responsabilidade Cívica:</b> Dentro de sua esfera de influência, a propriedade apoia de forma proativa e transparente a melhoria da estrutura legal e regulatória em todas as quatro dimensões da sustentabilidade, e não procura evitar o impacto dos direitos humanos ou padrões ou regulamentação de sustentabilidade por meio da véu corporativo, realocação ou qualquer outro meio?			
<b>G.4.4.1</b>	<b>Consentimento Livre, Prévio e Informado:</b> A propriedade está ciente do acesso preexistente das partes interessadas à terra, água e recursos? interessados informados, negociados em igualdade de condições e com compensação mutuamente acordada, suficiente para permitir meios de subsistência sustentáveis?			
<b>G.4.4.2</b>	<b>Direitos de Posse:</b> A propriedade está ciente da posse preexistente das partes interessadas e do acesso à terra, água e recursos, e pode a propriedade provar que cooperou total e prontamente com qualquer inquérito e processo de reparação para a satisfação das partes afetadas em caso de qualquer (suposta) violação dos direitos de licitação.			
<b>G.5.1.1</b>	<b>Plano de Gestão de Sustentabilidade:</b> O empreendimento possui um plano de sustentabilidade, endossado por			

	seu corpo diretivo (ou membros de associações de produtores ou contratados), que fornece uma visão holística da sustentabilidade do empreendimento e abrange cada uma das dimensões ambiental, econômica, social e de governança, incluindo referências à missão e demonstração de progresso em relação ao plano, ou como o plano conduziu decisões específicas e seus resultados?			
<b>G.5.2.1</b>	<b>Contabilidade de custos:</b> O sucesso do negócio da propriedade é medido e reportado às partes interessadas levando em consideração os impactos diretos e indiretos na economia, sociedade e ambiente físico?			

## 5. Integridade ambiental

<b>N.</b>	<b>Pergunta</b>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>	<b>PRECISA QUANTIFICAR</b>
<b>E.2.1.1</b>	<b>Meta de Conservação de Água:</b> A propriedade possui uma meta para reduzir o consumo de água ou a retirada de água?			
<b>E.2.2.2</b>	<b>Prática de Prevenção da Poluição da Água:</b> Quais atividades e práticas foram implementadas que efetivamente reduziram ou impediram a liberação de poluentes da água?			
<b>E.3.1.1</b>	<b>Práticas de Melhoria do Solo:</b> Atividades e práticas foram implementadas para aumentar a qualidade e fertilidade dos solos?			
<b>E.3.1.2</b>	<b>Estrutura Física do Solo:</b> As condições da estrutura física do solo são boas em relação ao clima local?			
<b>E.3.1.5</b>	<b>Matéria Orgânica do Solo:</b> A qualidade da matéria orgânica do solo é boa em consideração ao clima local?			
<b>E.4.2.4</b>	<b>Diversidade de Produção:</b> O empreendimento possui rotação de culturas diversificada e/ou utiliza várias espécies ao mesmo tempo?			
<b>E.5.3.1</b>	<b>Meta de Redução de Resíduos:</b> A propriedade possui meta na redução da geração de resíduos, bem como a periculosidade desses resíduos?			

<b>E.5.3.3</b>	<b>Descarte de Resíduos:</b> Os resíduos gerados pela propriedade e não segregados possuem ponto de armazenamento/coleta no empreendimento?			

## 6. Resiliência econômica

N.	Pergunta	SIM	NÃO	PRECISA QUANTIFICAR
<b>C.1.1.1</b>	<b>Investimento Interno:</b> Em quais atividades e práticas a propriedade investiu nos últimos 5 anos para melhorar e monitorar seu desempenho social, econômico, ambiental e de governança?			
<b>C.1.4.3</b>	<b>Determinação do Preço:</b> A possui um equilíbrio para negociar com o(s) seu(s) comprador(es) o preço de venda em todos os contratos?			
<b>C.2.2.3</b>	<b>Dependência do fornecedor líder:</b> Os insumos vêm do fornecedor líder?			
<b>C.3.1.2</b>	<b>Pesticidas Perigosos:</b> Algum dos funcionários manuseou, armazenou ou usou pesticidas altamente perigosos durante os últimos cinco anos?			
<b>C.3.1.3</b>	<b>Contaminação de Alimentos:</b> Houve algum incidente documentado em que resíduos de pesticidas em ingredientes ou produtos excederam os limites máximos permitidos?			
<b>C.3.2.1</b>	<b>Qualidade Alimentar:</b> A produção atende às normas e padrões de qualidade exigidos?			
<b>C.4.1.1</b>	<b>Força de Trabalho Regional:</b> A propriedade contratou durante os últimos cinco anos funcionários regionais quando habilidades, perfil e condições semelhantes são oferecidos a outros candidatos?			
<b>C.4.1.2</b>	<b>Compromisso Fiscal:</b> A propriedade paga os impostos aplicáveis conforme indicada pela regulamentação local?			

## 7. Bem-estar social

N.	Pergunta	SIM	NÃO	PRECISA QUANTIFICAR
B.1.1.2	<b>Nível salarial:</b> Todos os produtores primários que abastecem as propriedades e todos os empregados ganham pelo menos um salário digno?			
B.1.2.1	<b>Desenvolvimento de Capacidades:</b> Os produtores primários e empregados têm oportunidades de aumentar as habilidades e conhecimentos, avançar dentro da propriedade em que trabalham ou construir o futuro de sua própria propriedade?			
B.1.3.1	<b>Acesso Justo aos Meios de Produção:</b> Os produtores primários, incluindo os indígenas, têm acesso ao equipamento, capital e conhecimento ou treinamento necessários para viabilizar uma vida decente?			
B.2.1.1	<b>Preços Justos e Contratos Transparentes:</b> Os compradores, por meio de suas políticas e práticas, reconhecem e apoiam os direitos dos fornecedores (especialmente produtores primários) a preços justos e contratos e acordos justos?			
B.2.2.1	<b>Direitos dos Fornecedores:</b> Os compradores reconhecem e apoiam explicitamente os direitos dos fornecedores (especialmente produtores primários) à liberdade de associação e a negociação coletiva?			
B.3.1.1	<b>Relações trabalhistas:</b> A propriedade ou os subcontratados dos empregados têm acordos escritos com seus empregados que pelo menos atendem aos tratados nacionais e internacionais de trabalho, incluindo a previdência social, ou, para propriedades que são produtoras primárias, pelo menos um entendimento claro baseado em acordo verbal entre empregador e empregados?			
B.4.2.1	<b>Igualdade de Gênero:</b> A propriedade discrimina as mulheres na contratação, remuneração, treinamento e promoção, acesso a recursos ou demissão?			

<b>B.4.3.1</b>	<b>Apoio a Pessoas Vulneráveis:</b> A propriedade acomoda diferentes níveis de habilidade e deficiência, trabalhadores jovens e idosos e fornece recursos à comunidade para apoiar pessoas vulneráveis com serviços sociais e de saúde, treinamento e eventos culturais para mulheres, minorias e pessoas desfavorecidas?			
<b>B.5.1.2</b>	<b>Segurança do Local de Trabalho, Operações e Instalações:</b> A propriedade mantém um local de trabalho seguro, limpo e saudável, incluindo todos os terrenos e instalações, e todas as práticas?			



## ANEXO VII

### PARECER COMITÊ DE ÉTICA



DETALHAR PROJETO DE PESQUISA

- DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** PEGADA HÍDRICA, AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E SISTEMA SAFA COMO ESTRATÉGIA DE ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DO CULTIVO DE ARROZ NO BAIXO SÃO FRANCISCO SERGIPANO

**Pesquisador Responsável:** CAMILO RAFAEL PEREIRA BRANDAO

**Área Temática:**

**Versão:** 3

**CAAE:** 55189221.8.0000.5546


**Submetido em:** 10/06/2022


**Instituição Proponente:** Universidade Federal de Sergipe

**Situação da Versão do Projeto:** Aprovado

**Localização atual da Versão do Projeto:** Pesquisador Responsável

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio



Comprovante de Recepção:  PB\_COMPROVANTE\_RECEPCAO\_1762599

- DOCUMENTOS DO PROJETO DE PESQUISA

- ↳ Versão em Tramitação (E1) - Versão 4
  - ↳ Emenda (E1) - Versão 4
    - ↳ Documentos do Projeto
      - ↳ Comprovante de Recepção - Submissã
      - ↳ Cronograma - Submissão 1
      - ↳ Folha de Rosto - Submissão 1
      - ↳ Orçamento - Submissão 1
      - ↳ Outros - Submissão 1
      - ↳ Parecer Anterior - Submissão 1
      - ↳ Projeto Detalhado / Brochura Investigac
      - ↳ TCLE / Termos de Assentimento / Justif
- ↳ Versão Atual Aprovada (PO) - Versão 3
- ↳ Projeto Completo

Tipo de Documento	Situação	Arquivo	Postagem	Ações



## ANEXO VII



### Matriz de Pedigree versão OpenLCA 2.11.

	Muito bom	Bom	Justo	Pouco	Muito pouco
<b>Representatividade tecnológica</b>	Os aspectos tecnológicos foram modelados exatamente como descritos no título e nos metadados, sem nenhuma necessidade significativa de melhoria.	Os aspectos tecnológicos são muito semelhantes aos descritos no título e nos metadados, com necessidade de melhorias limitadas. Por exemplo: uso de dados de tecnologias genéricas em vez de modelagem para todas as plantas individuais.	Os aspectos tecnológicos são semelhantes aos descritos no título e nos metadados, mas merecem melhorias. Alguns dos processos relevantes não são modelados com dados específicos, mas usando proxies.	Os aspectos tecnológicos são diferentes do descrito no título e nos metadados. Requer grandes melhorias.	Os aspectos tecnológicos são completamente diferentes do descrito no título e nos metadados. É necessária uma melhoria substancial.
<b>Tempo de representatividade</b>	Os dados (data de coleta) podem ter no máximo 2 anos em relação ao “ano de referência” do conjunto de dados.	Os dados (data de recolha) podem ter no máximo 4 anos em relação ao “ano de referência” do conjunto de dados.	Os dados (data de recolha) podem ter no máximo 6 anos em relação ao “ano de referência” do conjunto de dados.	Os dados (data de recolha) podem ter no máximo 8 anos em relação ao “ano de referência” do conjunto de dados.	Os dados (data de recolha) têm mais de 8 anos em relação ao “ano de referência” do conjunto de dados.
<b>Representatividade geográfica</b>	Os processos incluídos no conjunto de dados são totalmente representativos da geografia indicada na “localização” indicada nos metadados.	Os processos incluídos no conjunto de dados são bem representativos da geografia indicada na “localização” indicada nos metadados.	Os processos incluídos no conjunto de dados são suficientemente representativos para a geografia indicada na “localização” indicada nos metadados. Por exemplo, o país representado difere, mas tem um perfil de mix de rede elétrica muito semelhante.	Os processos incluídos no conjunto de dados são representativos apenas para a geografia indicada na “localização” indicada nos metadados. Por exemplo, o país representado é diferente e tem um perfil de mix de rede elétrica substancialmente diferente.	Os processos incluídos no conjunto de dados não são representativos da geografia indicada na “localização” indicada nos metadados.
<b>Completude</b>	Dados representativos de todos os sites relevantes para o Mercado considerado,	Dados representativos de > 50% dos locais relevantes para o mercado considerado,	Dados representativos de apenas alguns sites (<< 50%) relevantes para o	Dados representativos de apenas um site relevante para o Mercado consideram	Representatividade desconhecida ou dados de um pequeno

	durante um período adequado para equilibrar as flutuações normais.	durante um período adequado para equilibrar as flutuações normais.	mercado considerado ou > 50% dos sites, mas de períodos mais curtos.	alguns sites, mas de períodos mais curtos.	número de locais e de períodos mais curtos.
<b>Precisão</b>	Medido/calculado e verificado. Incerteza muito baixa (<7%).	Medido/calculado e plausibilidade verificada pelo revisor.	Medido/calculado/literatura e plausibilidade não verificada pelo revisor OU Estimativa qualificada baseada na plausibilidade dos cálculos verificada pelo revisor.	Estimativa qualificada baseada em cálculos, plausibilidade não verificada pelo revisor.	Estimativa aproximada com déficits conhecidos.
<b>Adequação e consistência metodológica</b>	Atende ao critério em grau muito elevado, sendo ou não relevante para melhoria. Isto deve ser avaliado tendo em conta a contribuição do critério para o potencial impacto ambiental global do conjunto de dados e a comparação com uma situação ideal.	Atende ao critério em alto grau, tendo uma necessidade de melhoria pequena, mas significativa. Isto deve ser avaliado tendo em conta a contribuição do critério para o potencial impacto ambiental global do conjunto de dados e a comparação com uma situação ideal.	Atender o critério ainda em grau suficiente, embora haja necessidade de melhorias. Isto deve ser avaliado tendo em conta a contribuição do critério para o potencial impacto ambiental global do conjunto de dados e a comparação com uma situação ideal.	Atende o critério em grau suficiente, havendo necessidade de melhorias relevantes. Isto deve ser avaliado tendo em conta a contribuição do critério para o potencial impacto ambiental global do conjunto de dados e a comparação com uma situação ideal.	Nem todos atendem ao critério, havendo necessidade de melhorias muito substanciais. Isto deve ser avaliado tendo em conta a contribuição do critério para o potencial impacto ambiental global do conjunto de dados e a comparação com uma situação ideal.
<b>Qualidade geral</b>	Atende ao critério em grau muito elevado, tendo ou não necessidade relevante de melhoria. Isto deve ser avaliado tendo em conta a contribuição do critério para o potencial impacto ambiental global do conjunto de dados e em comparação com uma situação ideal.	Atende ao critério em alto grau, tendo pouca, mas significativa, necessidade de melhoria. Isto deve ser avaliado tendo em conta a contribuição do critério para o potencial impacto ambiental global do conjunto de dados e em comparação com uma situação ideal.	Atende ao critério em grau ainda suficiente, embora tenha necessidade de melhorias. Isto deve ser avaliado tendo em conta a contribuição do critério para o potencial impacto ambiental global do conjunto de dados e em comparação com uma situação ideal.	Não atende ao critério em grau suficiente, havendo necessidade de melhorias relevantes. Isto deve ser avaliado tendo em conta a contribuição do critério para o potencial impacto ambiental global do conjunto de dados e em comparação com uma situação ideal.	Não atende ao critério em grau suficiente, havendo necessidade de melhorias relevantes. Isto deve ser avaliado tendo em conta a contribuição do critério para o potencial impacto ambiental global do conjunto de dados.



## ANEXO VIII

## Produção Científica durante o doutoramento



Artigos completos	Ano	Periódico	Qualis
Registros interdisciplinares em assentamentos agrários do Alto Sertão Sergipano: o turismo de base comunitária como alternativa econômica	2024	Revista de Gestão Social e ambiental	A3
Avaliação da Pegada Hídrica no baixo São Francisco Sergipano	2023	Revista de Gestão Social e ambiental	A3
Estimativas dos usos finais de água no Instituto Federal de Sergipe através de sensores de fluxo e da plataforma Arduino – Campus Lagarto	2023	Revista Brasileira de Geografia Física	A2
Water footprint of coriander cropping cultivated in brazilian tropical Semiarid Region	2021	Brazilian Journal of Animal and Environmental Research	B4

Livros publicados/ organizados	Ano
Interdisciplinaridade nas Ciências Ambientais no Baixo São Francisco	2022
Pegada Hídrica da rizicultura no baixo São Francisco e o uso de defensivos agrícolas. 1. ed. São Cristóvão - SE	2020

Capítulos de livros	Ano
Variabilidade Interdecadal de Variáveis Meteorológicas e Índices Climáticos para o Estado de Pernambuco, Brasil	2023
Comparación entre Métodos de Estimación de Evapotranspiración Referencia (Eto) para El Municipio de Arapiraca-AL	2023
Sustentabilidade Urbana de espaços públicos: o caso dos bairros às margens do rio Sergipe em Aracaju/SE	2023
Characterization of the biodiversity of the curralinho hamlet in the upper sertão of sergipe	2023
Caracterização da Bacia Hidrográfica do São Francisco e as dinâmicas socioambientais do baixo sergipano.	2022
Aspectos socioeconômicos e ambientais da rizicultura no baixo São Francisco sergipano: a produção tradicional versus o manejo com preceitos agroecológicos do arroz "velho chico"	2022
Perfil da agricultura familiar e o uso de agroquímicos no cultivo de arroz no perímetro irrigado Betume/SE.	2022
Rentabilidade da rizicultura no baixo são Francisco: um estudo de caso no perímetro irrigado Betume	2021
Metodologia TMDL como estratégia de suporte ao processo de enquadramento de um recurso hídrico.	2021
Análise do perfil da pegada hídrica cinza da rizicultura no perímetro irrigado Betume, Neópolis - SE	2021
percepção ambiental acerca da tríplice epidemia (dengue-chikungunya-zika) e sua relação com os resíduos sólidos dos moradores no povoado juá município de Paulo Afonso - Bahia, Brasil	2020

Atividades antrópicas do turismo na Croa do Goré, Aracaju - SE: uma análise dos impactos negativos.	2020
Pandemia ou sindemia? aspectos socioeconômicos e ambientais da covid-19 na região metropolitana de Aracaju.	2020

<b>Resumos expandidos publicados em anais de congressos</b>	<b>Ano</b>
Pegada Hídrica e Agroquímicos: uso de cartilha como ferramenta para sensibilização na orizicultura do baixo são Francisco sergipano	2023
O uso de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TIDCs) como ferramenta de planejamento urbano.	2021
Metodologia TMDL como estratégia de suporte ao processo de enquadramento de um recurso hídrico.	2021
Aplicação da metodologia pegada hídrica no Estado de Sergipe	2020

<b>Trabalhos completos em anais de congressos</b>	<b>Ano</b>
Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) nos recursos hídricos da rizicultura a partir do AWARE method para escassez hídrica no baixo são Francisco sergipano.	2024
inâmica Sazonal na Atividade de Carcinicultura e Rizicultura: Uma Análise Comparativa das Variações Temporais entre Duas Importantes Práticas Agrícolas em Brejo Grande, Sergipe.	2024
Análise do perfil da pegada hídrica cinza da rizicultura no perímetro irrigado Betume, Neópolis - SE	2020