

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS

AVALIAÇÃO DO WATER-ENERGY-FOOD (WEF) NEXUS EM PROPRIEDADES
AGRÍCOLAS DE PEQUENO PORTE

MARIA CLARA BATISTA SANTOS

JOÃO PESSOA
2023

MARIA CLARA BATISTA SANTOS

**AVALIAÇÃO DO WATER-ENERGY-FOOD (WEF) NEXUS EM PROPRIEDADES
AGRÍCOLAS DE PEQUENO PORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof.º Dra. Sandra Naomi Morioka

JOÃO PESSOA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S237a Santos, Maria Clara Batista.

Avaliação do Water-Energy-Food (WEF) Nexus em
propriedades agrícolas de pequeno porte / Maria Clara
Batista Santos. - João Pessoa, 2023.
139 f. : il.

Orientação: Sandra Naomi Morioka.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Agricultura familiar. 2. Water-Energy-Food Nexus.
3. Ferramenta de avaliação. I. Morioka, Sandra Naomi.
II. Título.

UFPB/BC

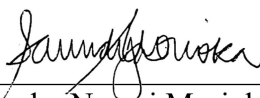
CDU 338.43(043)

**AVALIAÇÃO DO WATER-ENERGY-FOOD (WEF) NEXUS EM PROPRIEDADES
AGRÍCOLAS DE PEQUENO PORTE**

MARIA CLARA BATISTA SANTOS

Esta Dissertação foi julgada e aprovada em sua forma final para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Federal da Paraíba.

João Pessoa, 09 de fevereiro de 2023.



Prof.^a Sandra Naomi Morioka, Dra.
(Orientador)
Universidade Federal da Paraíba



Prof.^a Maria Christine Werba Saldanha, Dra.
(Examinador interno)
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Mário Otávio Batalha, Dr.
(Examinador externo)
Universidade Federal de São Carlos

Ao meu avô, Antônio Valério, por todo incentivo, sabedoria e amor partilhados enquanto estivemos juntos fisicamente. Meu amor e gratidão eterna.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e à Nossa Senhora por tudo e, principalmente, por cuidar de cada momento decisivo em meu trilhar. Devo agradecer por ter tido saúde, motivação e, sobretudo, paz desde o início à concretização de mais um sonho.

Aos meus pais, Maria Lúcia Batista Santos e Edson Barros dos Santos, aos quais sou grata por sempre me passarem confiança e apoio em cada novo passo, me fazendo sorrir e ser otimista diante dos desafios. Agradeço aos dois pelos “puxões de orelha”, carinho em forma de abraços e palavras, e cuidados constantes. Amo vocês infinitamente!

À minha querida família Batista Sousa e Barros dos Santos, todos sabem do meu amor e sentimento de gratidão por vocês. Minha avó, madrinha, minhas tias e tios, primos e primas eu só tenho a agradecer por tudo! Em especial agradeço à tia Mary e aos meus primos Júnior e Marcelo. Também agradeço aos meus amigos piauienses (inclusive os de coração), da infância, ESH, UFPI e à Groe, pelas boas risadas, desabafos e força para seguir em frente.

À minha orientadora, Profa. Dra. Sandra Naomi Morioka, meu sincero agradecimento por me acompanhar com muito cuidado durante toda a pesquisa. O modo como constrói conhecimento, a organização, o profissionalismo, a generosidade e o otimismo são valores que me fazem admirá-la. À minha coorientadora de coração, Profa. Dra. Mariana Moura Nóbrega, que me acolheu e buscou contribuir com importantes melhorias e debates em minhas apresentações. Meu muito obrigada!

Aos colegas do PAGETS e do PPGEPS, obrigada pelo companheirismo nas reuniões de orientação, aprendizados e conversas descontraídas. Obrigada também a minha “*roommate*” pelo convívio diário e gestos solidários, além dos felizes pedais. Agradeço também aos amigos da ONG Bike Anjo pelas trocas genuínas e alegrias não programadas no voluntariado. Também agradeço pelos momentos de renovação da fé que vivi na PJR, na presença do Pe. Samuel e do EJC Bancários.

Aos funcionários públicos, colaboradores da limpeza, docentes e técnicos que trabalham arduamente para manter a UFPB como um local público, gratuito e de qualidade para realizarmos nossos estudos. Em especial, ao Vinícius Pinagé e a Ana Araújo, funcionários do PPGEPS, pela gentileza, empatia e profissionalismo em suas atividades. Aos professores Dra. Cláudia Gohr (UFPB), Dr. Hugo Kramer (UFPB) e Dr. Denilson Teixeira (UFG) agradeço pela dedicação, ensinamentos e por toda a disponibilidade em sanar as dúvidas dos alunos.

Agradeço, imensamente, aos professores que participaram das avaliações durante as disciplinas de Seminários e Defesa: profa. Dra. Maria Christine Werba Saldanha e prof. Dr.

Mario Otávio Batalha. Muito obrigada pelas importantes contribuições no desenvolvimento desta pesquisa!

Aos agricultores familiares que participaram deste estudo, por toda paciência, detalhamento e gentileza durante as entrevistas, permitindo o desenvolvimento desta dissertação. Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida durante todo o período do mestrado.

Finalmente, gostaria de agradecer a todos que em algum momento cruzaram e marcaram a minha vida, fazendo-me aprender e amadurecer. Meu muito obrigada!

RESUMO

A abordagem Water-Energy-Food Nexus (WEF Nexus) considera as interdependências entre água, energia e alimentos em uma variedade de escalas espaciais que podem ser negligenciadas em uma única abordagem disciplinar. Com o propósito de realizar a gestão integrada dos três setores por coordenação intersetorial, ferramentas foram desenvolvidas para oferecer suporte às equipes de avaliação do WEF Nexus. A agricultura é um dos setores-chave do WEF Nexus. A fim de contribuir com esse tema de pesquisa, o objetivo geral desta dissertação é propor uma ferramenta de abordagem sistêmica e participativa para avaliar as interações water-energy-food (*WEF*) Nexus no contexto da agricultura familiar. Por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) foi identificado um conjunto de potencialidades e limitações que devem alertar as avaliações em estudos futuros. Dentre os métodos estudados, o método Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais incorporando Indicadores de Sustentabilidade (MESMIS) tem a capacidade de apoiar a avaliação participativa de sustentabilidade em pequenas escalas. Como resultado, propõe-se a ferramenta MESMIS-Nexus de abordagem sistêmica e participativa para avaliar as interações WEF Nexus em propriedades agrícolas. Esta ferramenta foi aplicada para sete propriedades rurais familiares, em casos reais e possibilitou mapear as interações sistêmicas da abordagem, identificar principais desafios na percepção de agricultores familiares e quatro lições práticas para o contexto estudado. Como resultado, espera-se, ainda, contribuir com as políticas de segurança e acesso à água, energia e alimentos através da operacionalização da abordagem, além de propor futuras agendas de pesquisas nesta área.

Palavras-chaves: Water-Energy-Food Nexus; Ferramenta de avaliação; Agricultura familiar.

.

ABSTRACT

The Water-Energy-Food Nexus (WEF Nexus) approach stands out for its ability to consider interdependencies between resources at a variety of spatial scales that may be overlooked in a single disciplinary approach. Food, energy and water security are inextricably interdependent and require integrated management of the three sectors through cross-sectoral coordination. To this end, tools have been developed to support the WEF Nexus evaluation teams. Agriculture is one of the key sectors of WEF Nexus. In order to contribute to this research topic, the overall objective of this dissertation is to propose a systemic and participatory approach tool to assess water-energy-food (WEF) Nexus interactions in the context of family farming. Through a Systematic Literature Review (SLR) a set of potentialities and limitations were identified that should alert evaluations in future studies. Among the methods studied, the method Evaluation of Natural Resource Management Systems incorporating Sustainability Indicators (MESMIS) has the capacity to support participatory sustainability assessment at small scales. As a result, the MESMIS-Nexus systemic and participatory approach tool is proposed to assess WEF Nexus interactions on farms. This tool was applied to seven family farms, in real cases and made it possible to map the systemic approach interactions, identify main challenges in the perception of family farmers and four practical lessons for the studied context. As a result, it is also expected to contribute to water, energy and food security and access policies through the operationalisation of the approach, in addition to proposing future research agendas in this area.

Keywords: Water-Energy-Food Nexus; Assessment tool; Family farming.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

ILUSTRAÇÕES PARTE I

Figuras

Figura 1 - Estrutura da dissertação	22
Figura 2 - Macro-etapas da pesquisa	25
Figura 3 – Resumo esquemático dos principais resultados dos artigos 1 e 2	27

ILUSTRAÇÕES PARTE II

Artigo 1

Figuras

Figura 1 - Fluxograma de desenvolvimento metodológico	37
Figura 2 - Distribuição anual das publicações da amostra (2021* Até outubro de 2021).....	39
Figura 3 - Principais periódicos com artigos relacionados às <i>strings</i> definidas com respectivos valores de fator de impacto JCR.....	40
Figura 4 - Distribuição de estudos da amostra distribuídos por país analisado.....	41
Figura 5 - Elementos Nexus identificados na amostra	42
Figura 6 - Co-citação das referências mais citadas pelas referências da amostra	44
Figura 7 - Rede de co-ocorrência de palavras-chave da amostra ao longo dos anos (baseado nas palavras-chave dos autores).....	45
Figura 8 - Distribuição por ano das categorias de ferramentas para avaliação das interações do WEF Nexus	46
Figura 9 - Agenda de pesquisa	58

Artigo 2

Figuras

Fig 1 - Ciclo de avaliação do MESMIS e MESMIS-Nexus	72
Figura 2 – Localização geográfica da comunidade rural José Gomes, Cabeceiras, Piauí.....	73
Figura 3 - Sistema de agricultura familiar representativo para sete propriedades, Piauí, Brasil	79
Figura 4 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade A.....	87
Figura 5 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade B	88
Figura 6 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade C	89
Figura 7 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade D.....	90
Figura 8 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade E	91
Figura 9 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade F	92
Figura 10 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade G.....	92
Figura 11 - Matriz de integração dos Índices Nexus Agregado para sete propriedades, Piauí, Brasil.....	93
Figura 12 - Gráfico com propriedades e índices agregados de avaliação do WEF Nexus.....	94
Figura 13 - Síntese das principais dificuldades apontadas pelos agricultores familiares	96
Figura 14 - Biossistema Caso A e F (casos similares)	138

Figura 15 - Biossistema Caso B	138
Figura 16 - Biossistema Caso C	139
Figura 17 - Biossistema Caso D	139
Figura 18 - Biossistema Caso F	140
Figura 19 - Biossistema Caso G	140
Figura 20 - Biossistema Caso Piloto	141
Figura 21 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para Caso Piloto	141

LISTA DE QUADROS

QUADROS PARTE II

Artigo 1

Quadros

Quadro 1 - Campos de pesquisa e palavras-chave	36
Quadro 2 - Quadro-resumo das especificidades e ferramentas utilizadas no escopo do WEF Nexus na agricultura.....	49

Artigo 2

Quadros

Quadro 1 - Descrição das etapas do estudo de caso	66
Quadro 2 - Descrição das etapas da ferramenta MESMIS-Nexus.....	67
Quadro 3 - Proposta inicial de indicadores vinculada à ferramenta MESMIS-Nexus	69
Quadro 4 - Resumo do protocolo do estudo de caso	74
Quadro 5 – Exemplo de escala de notas de desempenho atribuídas	75
Quadro 6 - Principais determinantes para caracterizar os agroecossistemas – sete propriedades familiares rurais localizadas no Piauí, Brasil.....	77
Quadro 7 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Água.....	81
Quadro 8 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Energia	82
Quadro 9 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Alimento	83
Quadro 10 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Capital.....	84
Quadro 11 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Labor	85
Quadro 12 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Land	86
Quadro 13 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Livelihoods	86

SUMÁRIO

PARTE I. TEXTO INTEGRATIVO	16
1 INTRODUÇÃO	16
1.1 TEMA, LACUNA E PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	19
1.2.1 Objetivo geral.....	19
1.2.2 Objetivos específicos.....	19
1.3 CONTRIBUIÇÕES	20
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2 PRINCIPAIS CONCEITOS.....	23
2.1 ABORDAGEM WEF NEXUS NA AGRICULTURA	23
3 MÉTODOS.....	24
4 PRINCIPAIS RESULTADOS.....	26
5 CONCLUSÃO.....	27
PARTE II. ARTIGOS NA ÍNTEGRA.....	31
ARTIGO 1: WATER-ENERGY-FOOD NEXUS NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DAS PRINCIPAIS TENDÊNCIAS E FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO DO WEF NEXUS.....	31
1 INTRODUÇÃO	32
2 MÉTODO	35
3 UMA VISÃO GERAL DA LITERATURA SOBRE WEF NEXUS NA AGRICULTURA.....	39
4 LIÇÕES APRENDIDAS COM AS LIMITAÇÕES E POTENCIALIDADES DAS FERRAMENTAS	45

5	DISCUSSÃO: PRINCIPAIS TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES DE PESQUISA	56
6	CONCLUSÃO, CONTRIBUIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	60
	ARTIGO 2: WATER-ENERGY-FOOD NEXUS EM PROPRIEDADES DE AGRICULTURA FAMILIAR: DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO	62
1	INTRODUÇÃO	62
2	MÉTODO	65
2.1	INICIANDO A PESQUISA: DEFINIÇÃO DE ESTRUTURA CONCEITUAL TEÓRICA	
	66	
2.2	PLANEJAMENTO DOS CASOS	72
2.3	INDO À CAMPO: COLETA DE DADOS	74
2.4	ANALISANDO DADOS	75
2.5	GERAÇÃO DO RELATÓRIO FINAL	75
3	RESULTADOS	76
3.1	PASSO 1 – DETERMINAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	76
3.2	PASSO 2 – DETERMINAÇÃO DOS PROCESSOS-CHAVE DO SISTEMA	77
3.3	PASSO 3 – MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA	79
3.4	PASSO 4 – SELEÇÃO DE INDICADORES DAS INTERAÇÕES WEF-L-C-LIV-LAN NEXUS	80
3.5	PASSO 5 – PERCEPÇÃO E MONITORAMENTO	87
3.6	PASSO 6 – INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS, APRESENTAÇÃO, CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO	93
4	DISCUSSÃO	94
4.1	APLICAÇÃO DA FERRAMENTA	94

4.2	OPORTUNIDADES DE MELHORIA	95
5	CONCLUSÃO, CONTRIBUIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA	97
	REFERÊNCIAS	100
	REFERÊNCIAS (ARTIGO 1)	100
	REFERÊNCIAS (ARTIGO 2)	113
	REFERÊNCIAS (TEXTO INTEGRATIVO)	118
	APÊNDICE A: PROTOCOLO DO ESTUDO DE CASO.....	131
	APÊNDICE B: ROTEIRO DE ENTREVISTA.....	132
	APÊNDICE C: MAPEAMENTO DE BIOSISTEMAS E INFORMAÇÕES SOBRE	
	CASO PILOTO	138

PARTE I. TEXTO INTEGRATIVO

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA, LACUNA E PROBLEMA DE PESQUISA

O aumento populacional, a urbanização, o crescimento econômico bem como as mudanças climáticas e sociais impulsionam a demanda global por água, energia e alimentos em que se estima um aumento na demanda por esses recursos em mais de 50% até 2050, em comparação aos dados anuais de 2015 (CORONA-LÓPEZ et al., 2021; ENDO et al., 2015; IRENA, 2015). Diante da pressão sobre os recursos hídricos, energéticos e alimentares, a qual apresenta às comunidades um número crescente de *trade-offs* e conflitos potenciais entre esses setores interligados, surge o conceito *WEF Nexus* (*Water-Energy-Food Nexus*) que está sendo amplamente discutido nos espaços acadêmicos e políticos atuais e tem impulsionado cada vez mais a pesquisa e a discussão de políticas nas áreas de desenvolvimento sustentável e segurança de recursos (CORONA-LÓPEZ et al., 2021; DALLA FONTANA et al., 2020; ENDO et al., 2020).

Esse termo popularizou-se desde o Fórum Econômico Mundial (2008) e a Conferência Nexus Bonn (2011) onde os desafios globais relacionados ao desenvolvimento econômico foram reconhecidos a partir da perspectiva do *WEF Nexus* (HOFF, 2011; YI et al., 2020; ZHANG et al., 2019b). No entanto, em relação a sua definição, não existe um consenso acordado na literatura acadêmica, o que resulta em variação de interpretações em diferentes contextos e por diferentes pesquisadores em suas respectivas áreas (ENDO et al., 2015; SMAJGL; WARD; PLUSCHKE, 2016).

Apesar das diferenças entre as definições, o *WEF Nexus* enfoca a gestão integrada dos três setores (água, energia e alimento) por coordenação intersetorial, a fim de reduzir *trade-offs* setoriais esperados e inesperados, além de possibilitar o desenvolvimento sustentável de cada setor (DAHER; MOHTAR, 2015; KURIAN, 2017). Assim, segundo Nhamo *et al.* (2020), a abordagem WEF Nexus está cada vez mais sendo reconhecida como transformadora e fornecedora de estratégias coerentes para gestão segura e sustentável de recursos naturais.

Estudos sobre *WEF Nexus* são inerentes a diferentes áreas acadêmicas, o que revela uma flexibilidade do conceito e a ausência de uma definição comum cria problemas com a interpretação e comparação de resultados (DALLA FONTANA et al., 2020). Além disso, de acordo com Endo *et al.* (2020) em um estudo cujo objetivo foi identificar metodologias e

ferramentas de última geração existentes dentro do *WEF Nexus*, os autores concluíram que não existe uma metodologia *Nexus* que combine abordagens interdisciplinares e transdisciplinares bem estabelecida atualmente. Assim, as abordagens baseadas em setores específicos podem aumentar a vulnerabilidade das comunidades e meios de subsistência devido à contínua degradação e esgotamento dos recursos (NHAMO et al., 2020). Tal situação exige a gestão integrada dos recursos naturais e governança integrada entre os setores, fortalecendo a segurança humana, bem como a segurança hídrica, energética e alimentar (HOFF et al., 2019).

Outro grande desafio da literatura sobre WEF Nexus é a mensuração desse conceito aplicado em uma determinada unidade de análise local (por exemplo, uma propriedade agrícola), já que a grande maioria das análises são conduzidas em níveis regionais ou nacionais devido à disponibilidade de dados, metas ou métricas de políticas presentes nesses níveis (DALLA FONTANA et al., 2020; MIRALLES-WILHELM, 2016). Em geral, os estudos avaliam principalmente o *status* e as tendências do *WEF Nexus* de um ponto de vista holístico, para contribuir na formulação de políticas e manter o desenvolvimento regional sustentável.

No entanto, a falta de implementação prática do *Nexus* implica em poucas evidências empíricas dos potenciais benefícios e valor agregado da aplicação desta abordagem, bem como dos desafios associados a ela (HOFF et al., 2019). Em paralelo a isso e em relação aos setores alvos de estudo, Zheng et al. (2019) afirmam que a agricultura está no centro do WEF Nexus em todo o mundo e, portanto, é necessário fazer avaliações qualitativas e quantitativas do WEF do ponto de vista da produção-consumo. A produção agrícola consome 70% da água doce da terra e consome 30% da energia disponível no mundo (para a produção de fertilizantes sintéticos e alimentação de sistemas de irrigação, fazenda, maquinário e distribuição) (FAO, 2014a). Ademais, a agricultura ainda tem um papel central na garantia da segurança alimentar e do bem-estar das pessoas mundialmente (AL-ANSARI et al., 2015; ZHENG et al., 2019).

Além disso, a avaliação do WEF Nexus em uma escala local, como propriedades em assentamentos rurais, é particularmente essencial visto que pode ser usada por tomadores de decisão e gestores, públicos e privados, no planejamento de ações e empreendimentos, e na formulação de políticas públicas que visem a segurança alimentar, hídrica e energética voltadas a esse público. Portanto, o planejamento dos recursos WEF Nexus pode contribuir ao informar estratégias para o desenvolvimento socioeconômico sustentável e inclusivo, garantindo a segurança dos recursos e melhorando os meios de subsistência para comunidades vulneráveis (NHAMO et al., 2020)

Entretanto, é possível considerar que ainda é um desafio compreender a avaliação WEF Nexus na agricultura, considerando a sua aplicação em contexto geográfico local e o caráter

participativo. Isso é corroborado por De Vito et al. (2017), Albrecht; Crotoft; Scott (2018), Lin et al. (2019), Ghafoori-kharanagh et al. (2021), que afirmaram que embora a abordagem WEF Nexus seja promissora e amplamente estudada como ferramenta de avaliação da sustentabilidade, poucas pesquisas focaram em sua aplicação ampla, incorporando a visão sistêmica, à nível local e capturando as características da área estudada bem como as preocupações das partes interessadas.

Além disso, Cansino-loeza et al. (2020) evidenciaram a importância de entender as inter-relações entre esses setores para, assim, implementar estratégias e políticas eficazes visando o alcance do desenvolvimento sustentável. Autores também ressaltaram a necessidade de mais pesquisas a serem realizadas sob a ótica de uma avaliação abrangente e de apoio à tomada de decisões efetivas para um uso agrícola mais sustentável dos recursos e redução dos impactos ecológicos locais e em outras regiões (DE VITO et al., 2017; YI et al., 2020). Assim sendo, Serrano-Tovar et al. (2019) indicam para estudos futuros processos participativos com agricultores locais e enfatizam que informações relevantes devem ser coletadas na forma de pesquisa participativa envolvendo os atores locais.

Mais uma lacuna de pesquisa é evidenciada ao buscar na literatura agricultura familiar associada ao *WEF Nexus*. A agricultura familiar é definida como o modo de organizar a produção agrícola, florestal, pesqueira, pastoril e aquícola que é gerida e explorada por uma família e que depende predominantemente da mão-de-obra familiar, tanto feminina como masculina, abrangendo pequenas propriedades agrícolas (FAO, 2013; GROVER; GRUVER, 2017). Quando o *WEF Nexus* foi analisado na agricultura, a maioria dos trabalhos tinham como foco produção agropecuária (AL-ANSARI et al., 2015; WOLDE et al., 2021), produção agrícola em escala maior (CAMPANA et al., 2018), produção de culturas energéticas (LAZARO et al., 2021; YUAN et al., 2018), agricultura irrigada (SUN et al., 2020) e agricultura urbana (TOBOSO-CHAVERO et al., 2019), sem declarar ser na agricultura familiar, como tais exemplos citados.

Por outro lado, existem ferramentas que se propõem a mensurar a sustentabilidade e que são aplicáveis na agricultura, como por exemplo o Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas – ISA (FERREIRA et al., 2012), o “Biograma” ou Índice de Desenvolvimento Sustentável (IDS) (SEPÚLVEDA et al., 2008), Avaliação de Sistemas de Manejo de Recursos Naturais incorporando Indicadores de Sustentabilidade - MESMIS, uma ferramenta metodológica concebida para contextos de pequena escala (MASERA; ASTIER; LÓPEZ, 2000), dentre outras com a mesma finalidade. No que tange a essas ferramentas, de

fato, algumas têm a contribuição do caráter participativo (como a ferramenta MESMIS), mas têm a limitação de não explicitar as interações entre água, energia e alimento.

Dessa forma, para além da integração do WEF Nexus, Dargin, Daher e Mohtar (2019) comentaram que é necessário mais esforço na organização de ferramentas acessíveis e que sejam acessíveis, sobretudo, às partes interessadas nos setores de tomada de decisão, o que pode ser alcançado integrando abordagens colaborativas e participativas às ferramentas do WEF Nexus. Em um estudo recente, Silveira (2022) utilizou a metodologia MESMIS aplicada a nível local para estudar as interações do WEF Nexus no bioma pampa brasileiro (Nexus Pampa) e demonstrou ser possível a adaptação do MESMIS para essa finalidade. Todavia, ainda faltam mais aplicações para explorar melhor essa relação.

Portanto, procurando preencher essas lacunas, esse estudo tem a seguinte questão de pesquisa: “Como avaliar as interações water-energy-food (WEF) Nexus no contexto da agricultura familiar, considerando a integração de abordagens sistêmica e participativa?”

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Propor e testar uma ferramenta de abordagem sistêmica e participativa para avaliar as interações water-energy-food (*WEF*) Nexus no contexto da agricultura familiar.

1.2.2 Objetivos específicos

- OE1: Mapear o corpo de conhecimento sobre a avaliação da abordagem *WEF Nexus* no contexto da agricultura identificando principais ferramentas utilizadas, limitações e potencialidades, tendências e lacunas de pesquisa;
- OE2: Propor a ferramenta MESMIS-NEXUS, adaptando o método participativo MESMIS para avaliar as interações sistêmicas do WEF Nexus em propriedades agrícolas;
- OE3: Aplicar a ferramenta proposta em propriedades de agricultura familiar por meio de estudos de caso;
- OE4: Identificar desafios e oportunidades de melhoria para as propriedades de agricultura familiar com aplicação da ferramenta MESMIS-NEXUS.

1.3 CONTRIBUIÇÕES

O estudo do *WEF Nexus* é sugerido para melhorar a segurança dos recursos, integrando a gestão e a governança entre setores e escalas, reduzindo os *trade-offs* e criando sinergias intersetoriais (WANG et al., 2021). Segundo Taguta et al. (2022), a natureza e as interconexões entre os setores do *WEF* são específicos para cada contexto. Logo, destaca-se a importância de explorar e compreender a interdependência entre água, energia e alimento e os recursos naturais que sustentam sua segurança em um contexto específico (LIU et al., 2017).

Embora o campo de pesquisa do *WEF Nexus* esteja evoluindo rapidamente, vários autores concordam que a tradução real da teoria para a prática está atrasada, portanto, há uma necessidade de investigar a aceitação limitada dessa abordagem promissora (AL-SAIDI; ELAGIB, 2017; DALLA FONTANA et al., 2021; DARGIN; DAHER; MOHTAR, 2019; LIU et al., 2017; NHAMO et al., 2020). Nesse sentido, muitas pesquisas revisaram as contribuições das ferramentas de avaliação *WEF Nexus*, tais como Dargin; Daher; Mohtar (2019) aprofundaram a complexidade das ferramentas *WEF Nexus*; Albrecht; Crootof; Scott (2018) e Zhang et al. (2018) focaram e incluíram conceitos e metodologias sobre ferramentas específicas do *WEF Nexus*; Dai et al., (2018) focaram em tipos de modelo, escala espacial, objetivo e nível de desafio do *WEF Nexus*. No entanto, algumas questões críticas sobre as características das ferramentas do *WEF Nexus* permanecem vagas (TAGUTA et al., 2022).

Por exemplo, quais as principais tendências de ferramentas são utilizadas na condução das avaliações do *WEF Nexus* na agricultura? Quais são as potencialidades das ferramentas *WEF Nexus* existentes? Quais as limitações? O que é possível aprender com tais ferramentas existentes e suas respectivas aplicações? Assim, o OE1 dessa pesquisa busca fornecer uma revisão crítica profunda das ferramentas de avaliação do *WEF Nexus*. Ele fornece não apenas as ferramentas possíveis, mas também suas aplicações e limitações. Ao fazer isso, o artigo 1 relacionado ao OE1 contribui fornecendo uma base sólida para estudos futuros relacionados à avaliação da sustentabilidade no setor agrícola.

Quanto a este setor, a atividade agrícola está entre as maiores fontes de riqueza financeira no mundo, significativa em termos de PIB e uso de recursos, como água, energia e produção de alimentos, desde o início da civilização, gerando renda e emprego para a população (HAGHJOO et al., 2022; LAURETT; PAÇO; MAINARDES, 2021). Dada sua importância, alguns estudos anteriores focaram em fatores associados à implementação de práticas

relacionadas ao desenvolvimento agrícola sustentável (FOGUESATTO; BORGES; MACHADO, 2020; LEITE et al., 2014; TODOROVIC et al., 2018). No entanto, poucos estudos apresentam foco na percepção dos agricultores sobre o desenvolvimento sustentável na agricultura (BAGHERI, 2010; FEOLA et al., 2015; GROVER; GRUVER, 2017). Tão pouco ainda são os estudos que abordam a percepção dos agricultores quanto ao *WEF Nexus*. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO) enfatiza a importância de incorporar as partes interessadas no uso e gestão de recursos (FAO, 2014a). Desse modo, os objetivos OE2 e OE3 apresentam uma importante contribuição por propor e aplicar uma ferramenta de avaliação das interações sistêmicas do *WEF Nexus*, cujo potencial está na captura da percepção dos agricultores de modo participativo no contexto da agricultura familiar.

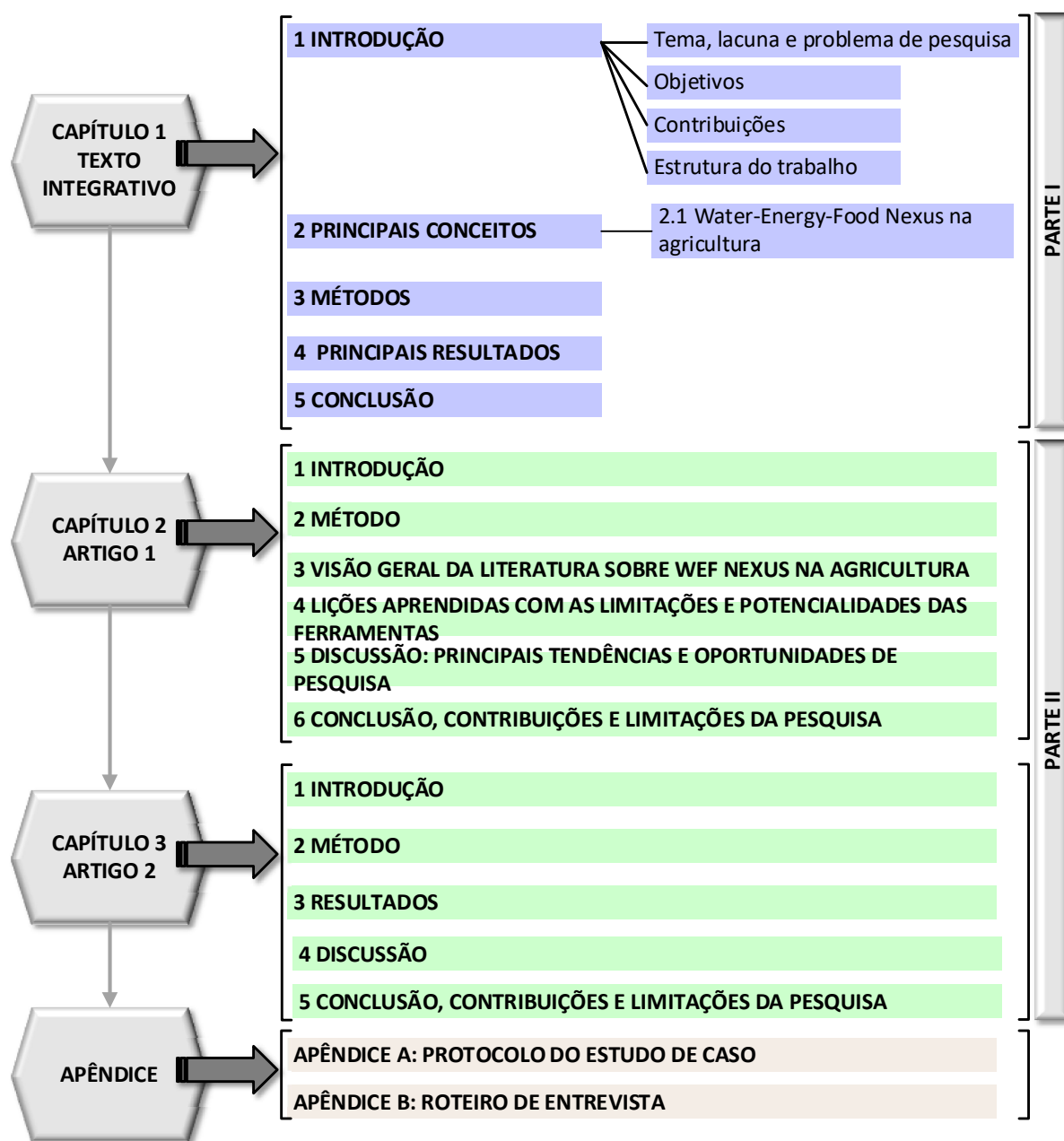
Portanto, academicamente, o estudo se justifica por contribuir bibliograficamente no contexto científico voltado para esse tema, ao propor e aplicar uma ferramenta de avaliação do *WEF Nexus* sistêmica e participativa que possa ser aplicada por novos estudos. Já na prática, o trabalho enseja apoiar a compreensão do *WEF Nexus* e identificar desafios e oportunidades de melhoria para agricultores familiares (OE4). O desenvolvimento do artigo 2, que contempla os objetivos OE2, OE3 e OE4, fornece uma base de evidência inicial para uma análise comparativa das interações *WEF Nexus* na agricultura à luz da percepção dos agricultores familiares. Para tanto, o artigo 2 desenvolve e aplica uma ferramenta para avaliar e comparar diferentes propriedades agrícolas, com base na literatura existente, sintetizando desafios e melhorias para as propriedades de agricultura familiar.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação foi concebida em formato de artigo e está dividida em duas partes. Capítulo 1 (Parte I) apresenta o texto integrativo para integração dos dois artigos e é composta por 5 subseções. A Subseção 1 é a Introdução, apresentando o tema, lacunas e problema de pesquisa. Além disso, essa subseção apresenta o objetivo geral, objetivos específicos, contribuições e estrutura do trabalho. A Subseção 2 é composta pelos principais conceitos sobre *WEF Nexus* e sua aplicação na agricultura. A Subseção 3 é destinada aos métodos, a relação entre os dois artigos e como cada artigo responde aos objetivos específicos da dissertação. A subseção 4 apresenta os principais resultados dos dois artigos. A subseção 5, a conclusão. Na sequência, os Capítulos 2 e 3 (Parte II) apresentam os artigos propostos da dissertação. O Capítulo 2 diz respeito à realização de uma revisão sistemática da literatura e o Capítulo 3, ao

estudo de caso múltiplo sobre a avaliação do WEF Nexus em propriedades de agricultura familiar brasileiras. A Figura 1 apresenta a estrutura da dissertação.

Figura 1 - Estrutura da dissertação



2 PRINCIPAIS CONCEITOS

2.1 ABORDAGEM WEF NEXUS NA AGRICULTURA

Água, energia e alimentos são setores essenciais, interligados e interdependentes, que sustentam a vida e os meios de subsistência, de tal forma que qualquer perturbação em algum dos três afetará os demais (NHAMO et al., 2020; SCANLON et al., 2017). Dessa forma, o planejamento do *WEF Nexus* é baseado em uma abordagem de sistemas, assim como os desafios, tanto que o foco em um setor pode potencialmente agravar e/ou transferir tensões para outros setores (IRENA, 2015; WICAKSONO; JEONG; KANG, 2017).

O conceito tem evoluído para uma abordagem importante e transformadora nos debates de sustentabilidade, reconhecida por aumentar a eficiência do uso de recursos e informar coerentes estratégias para gestão sustentável de recursos naturais (CANSINO-LOEZA; TOVAR-FACIO; PONCE-ORTEGA, 2021; NHAMO et al., 2020). Embora a abordagem direcione para o desenvolvimento sustentável, a necessidade de segurança no acesso aos recursos é o cerne da abordagem. As interconexões entre os setores WEF são específicos do contexto, daí a necessidade de explorar e compreender a interdependência entre água, energia e alimento e outros recursos que sustentam sua segurança (LIU et al., 2017; PANDEY; SHRESTHA, 2017)

Apesar deste aumento na pesquisa sobre a abordagem WEF Nexus, há uma necessidade de expandir os estudos existentes incluindo mais setores na avaliação. Outros setores que podem ser adicionados para expandir o WEF Nexus, como uso da terra e serviços ecossistêmicos (ARAUJO et al., 2021; PAHL-WOSTL, 2019), clima (RASUL; SHARMA, 2016; STONE et al., 2021). Muitos estudos também são limitados em sua real aplicabilidade, falhando em oferecer uma efetiva orientação integrada para segurança hídrica, energética e alimentar (ALBRECHT; CROOTOFF; SCOTT, 2018).

Em um sistema de produção agrícola, os recursos hídricos e energéticos são insumos essenciais para a produção de alimentos. A água é usada para irrigação de plantações e processamento de alimentos (DE VITO et al., 2017). A energia é geralmente usada para coletar, transportar, bombear, irrigar, no uso de fertilizantes, preparo do solo, colheita, essencial para produção de alimentos (LI et al., 2019a; YANG et al., 2016; ZHENG et al., 2019).

Gerenciar o WEF Nexus na agricultura é complexo devido a conflitos entre recursos (água, energia e alimento) e fatores sociais, econômicos e ambientais (TIAN et al., 2018). Embora complexo, é desejável administrar os recursos hídricos, energéticos e alimentares de

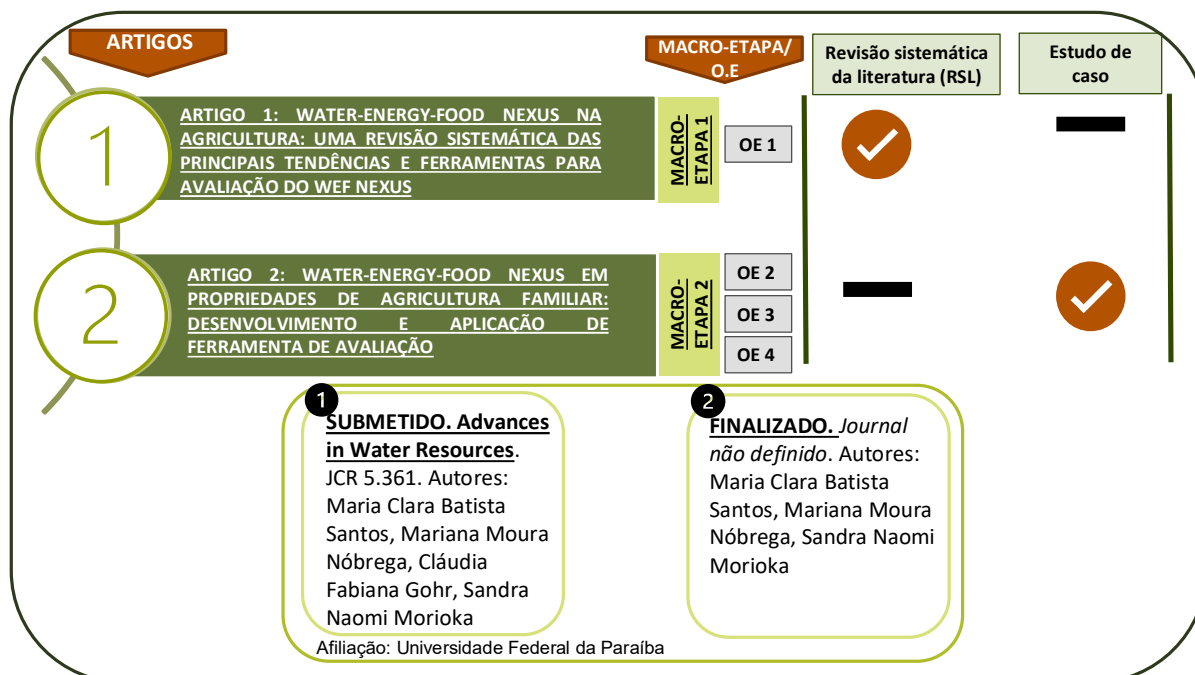
maneira sustentável, equilibrando o desenvolvimento econômico, social e ambiental (EL-GAFY; APUL, 2021). Modelos analíticos têm sido desenvolvidos para fornecer práticas aplicáveis à agricultura em situação real, visando o equilíbrio necessário entre as demandas humanas e o abastecimento de recursos naturais para o alcance da sustentabilidade dos meios de subsistência e a oferta segura de recursos (NHAMO et al., 2020; SMITH et al., 2020; SUŠNIK et al., 2012).

Pequenas propriedades familiares podem contribuir para uma agricultura mais sustentável (LAURETT; PAÇO; MAINARDES, 2021). A Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO) define a agricultura familiar como sendo um meio de organização da produção agrícola, florestal, pesqueira, pastoril e aquícola gerida e explorada por uma família e que depende predominantemente da mão-de-obra familiar, tanto feminina como masculina. A família e a fazenda estão ligadas, coevoluem e combinam funções econômicas, ambientais, sociais e culturais (FAO, 2014a). A agricultura familiar é a forma de agricultura mais predominante, sendo esta responsável por mais da metade da produção de alimentos do mundo (FAO, 2014a).

3 MÉTODOS

Esta dissertação foi desenvolvida a partir de duas macro-etapas. A Macro-etapa 1 baseia-se na realização de uma revisão sistemática da literatura (RSL). A RSL utiliza uma estratégia de busca estruturada, transparente e reprodutível que visa identificar e avaliar criticamente pesquisas relevantes, coletar e analisar dados de tais pesquisas, identificando sua contribuição ao seu respectivo tema (SNYDER, 2019). Já na Macro-etapa 2, foi conduzido um estudo de caso múltiplo adequado para desenvolver a pesquisa exploratória e investigar um determinado fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto real (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). Cada macro-etapa resultou em um artigo, e os dois artigos resultantes contribuem para atingir os objetivos geral e específicos da dissertação. A Figura 2 demonstra de forma holística a ligação entre as macro-etapas, artigos, objetivos e métodos da dissertação.

Figura 2 - Macro-etapas da pesquisa



No Artigo 1 são exploradas as principais limitações e potencialidades das avaliações da abordagem *WEF Nexus* no contexto da agricultura, provenientes da literatura. Este artigo fornece lições aprendidas para a elaboração do Artigo 2. Uma agenda de pesquisa foi elaborada para sintetizar melhor as lacunas e limitações encontradas nas avaliações do *WEF Nexus* conduzidas em tal contexto. Todo o artigo destaca a necessidade de integrar as partes interessadas para apoiar as avaliações *WEF Nexus* em seu processo de operacionalização. Este artigo está fundamentado nos procedimentos estabelecidos por Tranfield; Denyer; Smart (2003) resultando em uma análise quantitativa, análise de redes e análise de conteúdo da amostra dos estudos selecionados. Os achados desse estudo de RSL visam atingir o OE1 com a discussão em torno das categorias de ferramentas e lições aprendidas baseadas nas limitações e potencialidades dos diferentes tipos de aplicação.

O Artigo 2 tem em vista desenvolver a ferramenta de abordagem sistêmica e participativa, explorando as lacunas e limitações identificadas no artigo 1. Além disso, aplica a ferramenta proposta em sete propriedades de agricultura familiar através de estudos de caso. Nesse sentido, o Artigo 2 propõe uma nova ferramenta de avaliação do *WEF Nexus* e explora a operacionalização dessa ferramenta sistêmica e participativa, compondo as contribuições da dissertação. Em síntese, todo o artigo está fundamentado nos procedimentos estabelecidos por Eisenhardt (1989) e Yin (2018). A ferramenta de avaliação proposta e sua aplicação objetivam atingir o OE2, OE3 e OE4 da dissertação.

4 PRINCIPAIS RESULTADOS

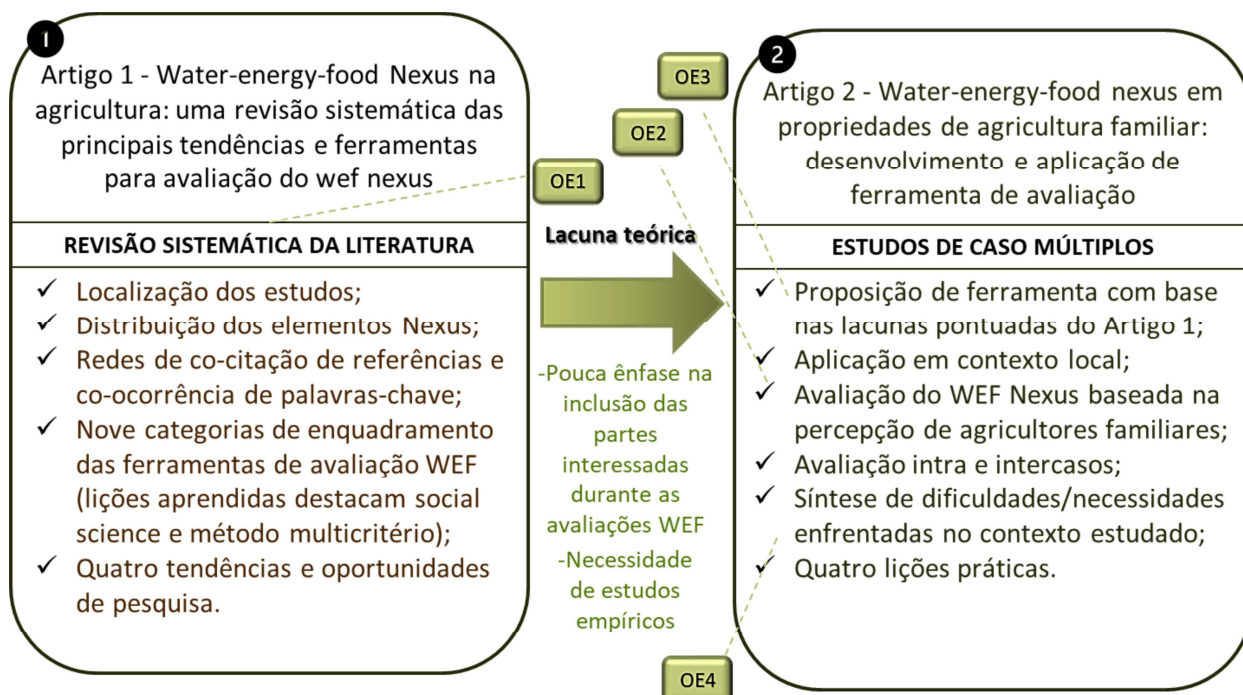
Os principais resultados obtidos para o Artigo 1 mostraram que China, EUA, Brasil são os países onde a maior parte dos estudos foram desenvolvidos. Os principais elementos e tipos de arranjo que têm ampliado o conceito WEF Nexus para incluir outras dimensões são 1. Clima, 2. Terra, 3. Ecossistema e 4. Ambiente. 3 cluster de pesquisa e 7 tópicos tendências de pesquisa são fornecidos através das análises de rede.

O Artigo 1 desenvolve uma análise das ferramentas levando em conta a criação de 9 categorias adaptadas de uma clássica revisão sistemática da literatura (ALBRECHT; CROOTOFF; SCOTT, 2018) e, fornece para o Artigo 2 uma análise crítica de potencialidades a serem consideradas nas próximas avaliações conduzidas, bem como limitações que devem alertar os estudos futuros. O Artigo 1 apresenta quatro oportunidades temáticas a serem mais bem exploradas em pesquisas futuras (OE1). A literatura pontua ênfase na necessidade de incluir nas avaliações conduzidas as necessidades das partes interessadas (sociedade, governo, etc), além de mais estudos aplicáveis, práticos quanto a abordagem WEF Nexus. Esta é uma lacuna teórica mapeada para o Artigo 2.

Os principais resultados obtidos para o Artigo 2 mostraram a ferramenta proposta (OE2) é aplicável e uma das novidades dela é a ampliação do WEF Nexus para incluir outros elementos provenientes da literatura (*capital, labor, land e livelihoods*) que ainda não haviam sido estudados em conjunto com a abordagem WEF Nexus em pesquisas anteriores (OE3). Os resultados mostraram os setores de capital e livelihoods os mais problemáticos nas propriedades estudadas segundo a percepção dos agricultores. Já os setores mais bem avaliados e importantes para autossuficiência das famílias são água e terra/solo, com condições de acesso favoráveis aos agricultores.

O Artigo 2 sintetiza quinze desafios enfrentados no contexto estudado que são atrelados à perspectiva sistêmica dos setores (OE4). Estes desafios enfrentados por propriedades rurais familiares brasileiras sob a ótica da abordagem WEF Nexus levam à quatro lições práticas que poderão ser úteis para entidades públicas governantes no que diz respeito à criação de políticas públicas específicas para este público, bem como pesquisadores, palestrantes e estudantes ligados direta ou indiretamente com este tema de pesquisa. A Figura 3 apresenta um resumo esquemático dos principais resultados dos artigos 1 e 2 e a relação estabelecida entre ambos.

Figura 3 – Resumo esquemático dos principais resultados dos artigos 1 e 2



5 CONCLUSÃO

Esta dissertação teve como objetivo geral propor e testar uma ferramenta de abordagem sistêmica e participativa para avaliar as interações water-energy-food (*WEF*) Nexus no contexto da agricultura familiar. Quatro objetivos específicos foram derivados desse objetivo geral. Todos os objetivos foram atendidos e são comentados a seguir.

Objetivo específico OE1: Mapear o corpo de conhecimento sobre a avaliação da abordagem *WEF* Nexus no contexto da agricultura identificando principais ferramentas utilizadas, limitações e potencialidades, tendências e lacunas de pesquisa.

A partir da revisão sistemática da literatura foram identificadas as principais ferramentas utilizadas nas avaliações de WEF Nexus no contexto da agricultura e organizadas em nove categorias temáticas apresentadas no Quadro 2 (Artigo 1), são elas: (i) *Programming, modeling, optimization and simulation*, (ii) *Indicators*, (iii) *Environmental management*, (iv) *Systems analysis*, (v) *Multicriteria*, (vi) *Social Science*, (vii) *Statistical analysis*, (viii) *Economic*, (ix) *Geospatial*. Com base na análise crítica dessas categorias, foram identificadas limitações e

potencialidades sintetizadas em lições aprendidas sobre as avaliações do WEF Nexus na agricultura. Após análise dos resultados da RSL, uma agenda de pesquisa com tendências e lacunas de pesquisa foi proposta na Figura 9 (Artigo 1) e complementou a discussão de quatro tópicos temáticos a serem explorados em estudos futuros sobre o tema.

Objetivo específico OE2: Propor a ferramenta MESMIS-NEXUS, adaptando o método participativo MESMIS para avaliar as interações sistêmicas do WEF Nexus em propriedades agrícolas.

Com base na adaptação do método participativo MESMIS proposto por Masera; Astier; López (2000), a ferramenta MESMIS-Nexus foi concebida para avaliar as interações WEF Nexus em propriedades agrícolas e consiste em 6 passos, são eles: (1) Determinação do objeto de estudo, (2) Determinação dos processos-chave do sistema; (3) Mapeamento e caracterização do sistema, (4) Seleção de indicadores das interações WEF-C-L-LAN-LIV Nexus, (5) Percepção e monitoramento e (6) Integração dos resultados, apresentação, conclusões e recomendações. A caracterização das etapas e o esquema de passos da ferramenta são apresentados no Quadro 2 e Figura 1 (Artigo 2).

Objetivo específico OE3: Aplicar a ferramenta proposta em propriedades de agricultura familiar por meio de estudos de caso.

Aplicou-se a ferramenta de abordagem sistêmica e participativa em sete propriedades rurais familiares localizadas no Brasil.

Objetivo específico OE4: Identificar desafios e oportunidades de melhoria para as propriedades de agricultura familiar com aplicação da ferramenta MESMIS-NEXUS.

Com base nos estudos de caso, foram identificadas 15 dificuldades/necessidades (Figura 11 – Artigo 2) enfrentadas no contexto estudado a partir da aplicação da ferramenta proposta. Com base nesses achados empíricos, foram desenvolvidas quatro lições práticas.

Quanto às contribuições desta dissertação, a principal se refere à proposição de uma ferramenta de avaliação do WEF Nexus para aplicação em estudos empíricos, especialmente conduzido em contexto local (à nível de propriedade agrícola). Esta ferramenta é capaz de

incluir e capturar a percepção de partes interessadas sobre as interações WEF Nexus estabelecidas em sua propriedade.

Outra contribuição desta pesquisa é a utilização do método estudo de caso para aplicação da ferramenta em propriedades rurais familiares, pois este método permitiu operacionalizar as etapas da ferramenta proposta e avaliar as interações WEF Nexus em casos reais, possibilitando a comparação intra caso e inter casos das propriedades avaliadas. A relevância do emprego desse método se destaca devido ao fato das pesquisas relacionadas ao tema serem predominantemente quantitativas (programação, modelagem, simulação e otimização). Esta dissertação vai ao encontro da lacuna teórica que pontua a necessidade de pesquisas qualitativas e exploratórias sobre o tema.

A dissertação é baseada na abordagem WEF Nexus para operacionalizar o desenvolvimento sustentável. Isso vai além da abordagem *triple bottom line*, enfatizando os aspectos críticos da sustentabilidade no setor agrícola. As análises têm grande potencial para desenvolvimentos de soluções na teoria e na prática. A RSL desenvolvida fornece não apenas as ferramentas possíveis, mas também suas aplicações e limitações. Ao fazer isso, foi possível analisar quais categorias de ferramentas foram mais empregadas nas pesquisas bem como o oposto, fornecendo uma base sistematizada para estudos futuros relacionados à avaliação do WEF Nexus no setor agrícola.

No que diz respeito às contribuições práticas, destaca-se que a partir do desenvolvimento da ferramenta MESMIS-Nexus, partes interessadas diversas (exemplo gestores públicos, usuários finais, entidades com poder de influência ou simplesmente de dependência) têm à disposição uma ferramenta de apoio à avaliação de cenários WEF Nexus, que possibilita identificar quais são as necessidades e desafios do contexto estudado, pode construir uma relação com o desenvolvimento políticas públicas que contribuam para a sustentabilidade e segurança no acesso à recursos a um público específico.

Em relação às limitações desta dissertação é necessário explicitar que a amostra trabalhada na RSL não considerou categorias como “*conference article*” e outras, incluindo apenas artigos acadêmicos publicados em periódicos. Somado a isso, as *strings* para definir a amostra buscaram artigos que discutiam o tema “avaliação”, “WEF Nexus” e “agricultura” apenas em conjunto. Essas duas ações podem ter limitado ao escopo da pesquisa. Há um trade-off entre a riqueza de detalhes em cada ferramenta e a síntese para criar uma compreensão holista das categorias temáticas. Apesar do processo de codificação e categorização para tratamento dos dados, pode haver um viés dos autores nas interpretações dos resultados.

Portanto, diante das limitações mencionadas, sugere-se principalmente que estudos futuros ampliem o escopo de pesquisa e investiguem as interações WEF em variados contextos práticos.

Quanto aos estudos de caso, a primeira limitação é que os resultados não podem ser generalizados e estão atrelados ao contexto estudado, necessitando um olhar atento as particularidades de outros locais de aplicação. A segunda limitação é sobre os métodos de coleta de dados, em que as entrevistas com os agricultores e as visitas com observação não participante foram limitadas à no máximo três entrevistas/visitas em cada propriedade. O estudo também adotou uma abordagem transversal, então recomenda-se a condução de pesquisas acerca do mesmo sistema ao longo do tempo (abordagem longitudinal) a fim de possibilitar a análise profunda especialmente quando há adoção de projetos voltados para uma agricultura mais sustentável.

PARTE II. ARTIGOS NA ÍNTEGRA

ARTIGO 1: WATER-ENERGY-FOOD NEXUS NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DAS PRINCIPAIS TENDÊNCIAS E FERRAMENTAS PARA AVALIAÇÃO DO WEF NEXUS

STATUS DO ARTIGO: em revisão na revista *Advances in Water Resources* (JCR 5,361)

RESUMO Water-energy-food Nexus (WEF Nexus) tornou-se uma abordagem popular no campo da sustentabilidade e desenvolvimento sustentável. A abordagem enfatiza a interconexão crítica (compreendendo relações sinérgicas e de troca) entre água, energia e segurança alimentar para a sociedade. Os estudos permanecem limitados e ainda há falta de consenso sobre os melhores métodos e ferramentas para abordar a multidimensionalidade do WEF Nexus. Entre os vários cenários de aplicação, a agricultura pode ser um contexto chave que requer uma gestão eficaz e coordenada do WEF Nexus. No entanto, estudos sobre WEF Nexus na agricultura necessitam ser mais bem explorados. Para preencher esta lacuna, este estudo fornece uma revisão sobre o estado da arte da literatura sobre WEF Nexus na agricultura, realizando uma revisão sistemática da literatura. Este artigo destaca a intensificação das publicações nos últimos anos e a crescente tendência de interesse em usar o WEF Nexus para operacionalizar o desenvolvimento sustentável na agricultura. O estudo fornece uma revisão crítica profunda das ferramentas de mensuração do WEF Nexus. Ele fornece não apenas as ferramentas possíveis, mas também suas aplicações e limitações. Ao fazer isso, o documento fornece uma base sólida para estudos futuros relacionados à avaliação da sustentabilidade no setor agrícola. Em particular, os resultados mostram que a falha em capturar as preocupações das partes interessadas, a viabilidade na prática, a customização para refletir as condições locais em uma área específica e a simplificação de premissas são alguns dos nós críticos nas avaliações realizadas. A última contribuição identifica as principais tendências de pesquisa na literatura revisada: (i) WEF Nexus na agricultura sob a perspectiva da modelagem de dinâmica de sistemas, (ii) pegada hídrica de culturas nas avaliações, (iii) estudos multidisciplinares sobre a dinâmica WEF Nexus e (iv) metas de desenvolvimento sustentável nas avaliações do WEF Nexus.

PALAVRAS-CHAVE: Water-energy-food Nexus, ferramentas de avaliação, contribuições participativas, multidisciplinary perspectives, agriculture

1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional, a urbanização, o crescimento econômico bem como as mudanças climáticas e sociais impulsionam a demanda global por água, energia e alimentos. Estima-se um aumento na demanda por esses recursos em mais de 50% até 2050, em comparação aos dados anuais de 2015 (CORONA-LÓPEZ et al., 2021; ENDO et al., 2015; IRENA, 2015). Diante dessa pressão sobre os recursos hídricos, energéticos e alimentares, a qual apresenta às comunidades um número crescente de *trade-offs* e conflitos potenciais entre esses recursos interligados, surge o conceito *WEF Nexus* (*Water-Energy-Food Nexus*) que tem sido amplamente discutido nos espaços acadêmicos e políticos e adotado em importantes estudos científicos nas áreas de desenvolvimento sustentável e segurança de recursos (DALLA FONTANA et al., 2020; ENDO et al., 2020; LIU et al., 2018).

Esse termo popularizou-se desde o Fórum Econômico Mundial (2008) e a Conferência Nexus Bonn (2011) onde os desafios globais relacionados ao desenvolvimento econômico foram reconhecidos a partir da perspectiva do *WEF Nexus* (HOFF, 2011; ZHANG et al., 2018). Presentemente, é uma abordagem reconhecida como transformadora e fornecedora de estratégias coerentes para gestão sustentável de recursos naturais, portanto popular no campo da sustentabilidade (DALLA FONTANA et al., 2021; NHAMO et al., 2020).

Estudos nessa temática são inerentes a diferentes áreas do conhecimento, o que revela uma flexibilidade do conceito e a ausência de uma definição comum cria problemas de interpretação e comparação de resultados (DALLA FONTANA et al., 2020). Apesar das diferenças entre as definições, o *WEF Nexus* foca na gestão integrada dos três setores (água, energia e alimento) por coordenação intersetorial, governança integrada e coerência de políticas, a fim de reduzir *trade-offs* setoriais e possibilitar o alcance de melhores resultados sociais e econômicos ao mesmo tempo em que reduz a pressão sobre os recursos naturais (ALBRECHT; CROOTOFF; SCOTT, 2018; HOFF et al., 2019). No entanto, de acordo com Endo et al. (2020), não existe uma metodologia de avaliação do *WEF Nexus* bem estabelecida atualmente que combine abordagens interdisciplinares e transdisciplinares.

Nesse cenário, a agricultura pode ser um exemplo chave que requer a gestão eficaz e coordenada do *WEF Nexus*, pois a disponibilidade de água afeta a produção de alimentos, determina diretamente o rendimento das colheitas e os consequentes lucros agrícolas, enquanto

a produção de alimentos, por sua vez, consome água e energia e esta é usada para captação de água, bombeamento, irrigação e drenagem para o crescimento das culturas (KARABULUT et al., 2018; LI et al., 2019b). Ao mesmo tempo, a água também contribui para a geração de energia. Ainda, a disponibilidade de energia restringe algumas práticas agrícolas para produção de alimentos, como preparo e colheita no campo, processamento de alimentos que, por sua vez, consome energia. Além disso, os resíduos da produção de alimentos podem ser aproveitados para a geração de biocombustíveis (LI et al., 2019a; TIAN et al., 2018).

Porém, os estudos existentes sobre a melhoria da segurança hídrica, energética e alimentar através da integração de gestão e governança em todos os setores e escala de *WEF Nexus*, mal abordaram as três questões-chave de sustentabilidade relacionadas à produção agrícola, sendo limitados ao tratar parâmetros como a degradação do solo, a carga de nutrientes, bem como grandes quantidades de água, terra, aplicação de fertilizantes químicos, agrotóxicos e pesticidas, que levam a impactos ambientais, como emissão de gases de efeito estufa (HAMIDOV; HELMING, 2020; WICHELNS, 2017). Nesse contexto, a fim de produzir benefícios mútuos a cada setor do *WEF Nexus* e garantir a segurança e sustentabilidade da produção agrícola (FAO, 2014b; KARABULUT et al., 2016), uma visão holística e abrangente deve ser empregada ao analisar os *trade-offs* e sinergias inerentes ao *WEF Nexus* na agricultura (ISLAM et al., 2021; LIU et al., 2022).

De uma forma feral, a literatura apresenta revisões da literatura que abordaram ferramentas de avaliação do *WEF Nexus* em diferentes contextos. Por exemplo, autores revisam o uso de ferramentas de simulação específicos, a contribuição para a implementação bem-sucedida do *WEF Nexus* e os desafios em relação ao uso (BROUWER et al., 2018; MCCARL et al., 2017; WICAKSONO; JEONG; KANG, 2017), discutem a consistência e as inconsistências entre índices específicos para *WEF Nexus*, bem como suas implicações resultantes (SALADINI et al., 2018; VENGHAUS; DIEKEN, 2019), revisa a metodologia de avaliação de ciclo de vida aplicada à análise do *WEF Nexus* (MANNAN et al., 2018), apresenta ferramentas de avaliação de *WEF Nexus* sob critérios para seleção de ferramentas adequadas (DARGIN; DAHER; MOHTAR, 2019), revisa sistematicamente sobre as ferramentas utilizadas para avaliar os recursos hídricos e alimentares (CORONA-LÓPEZ et al., 2021). Nesse contexto, a atenção às ferramentas de avaliação do *WEF Nexus* é essencial.

No entanto, embora haja um corpo de conhecimento sobre as ferramentas de avaliação do *WEF Nexus*, não há uma definição padronizada e clara ou um roteiro guiando sua implementação em diferentes sistemas e ainda há uma necessidade de mais pesquisas nessa área (AL-THANI; AL-ANSARI, 2021). Segundo Zhang et al. (2018), a complexidade do *WEF*

Nexus promoveu diversas ferramentas para melhor compreender seu alcance. Por exemplo, Dargin; Daher; Mohtar (DARGIN; DAHER; MOHTAR, 2019) e Daher; Mohtar (2015) argumentam que a falta de consenso sobre os melhores métodos e abordagens para abordar a multidimensionalidade do *WEF Nexus* persiste. Em particular, o enfoque na agricultura é o menos explorado.

Dessa forma, considerando as lacunas ora apresentadas, este artigo busca responder à seguinte questão de pesquisa: “Quais as tendências e ferramentas têm sido apresentadas na literatura científica sobre a avaliação do *WEF Nexus* na agricultura?”. Dessa forma, o principal objetivo do trabalho consiste fornecer a revisão do estado da arte na literatura sobre a avaliação *WEF Nexus* na agricultura, sucedida nas bases de dados Scopus e Web of Science a fim de identificar metodologias e ferramentas de última geração existentes para avaliação do *WEF Nexus*, com foco na agricultura. Especificamente pretende-se: (O.1) analisar as principais características da literatura sobre as ferramentas utilizadas para avaliação do *WEF Nexus* na agricultura; (O.2) mapear e discutir as contribuições e limitações de cada ferramenta apresentadas pelos estudos mais relevantes, fornecendo lições aprendidas; (O.3) tomando como base as análises anteriores, identificar as principais tendências e oportunidades de pesquisa para este tema.

O desenvolvimento desse trabalho é relevante na medida em que contribui para o avanço do conhecimento de algumas formas. Em primeiro lugar, o artigo cobre uma importante lacuna da literatura uma vez que identifica e discute diversas contribuições e limitações das ferramentas de avaliação atuais, sintetizando lições aprendidas para dar suporte ao alcance dos objetivos de segurança e sustentabilidade nas próximas avaliações do *WEF Nexus*. Conforme reforçado por Dalla Fontana et al., (2021) o uso de métodos específicos para avaliar sistematicamente as interligações de água, energia e alimentos, ou para apoiar o desenvolvimento de políticas, em contexto geral, frequentemente têm sido limitados. Assim, em segundo lugar, integrar a produção de conhecimento científico, através da sistematização de lições aprendidas em categorias temáticas com foco na agricultura demonstra uma contribuição desse artigo quanto a literatura anterior. Em terceiro, os resultados desse trabalho não focam em propor soluções tecnológicas, tecnocráticas e gerenciais, mas sim chamar atenção às diversas causas raiz de avaliações limitadas para melhor auxiliar soluções práticas que, de fato, integrem a produção de conhecimento científico aos problemas sociais, ambientais e gerenciais.

Para atingir os objetivos, este artigo possui seis seções, incluindo esta introdução. A Seção 2 apresenta os procedimentos metodológicos para a seleção e análise dos documentos. A

Seção 3 analisa os resultados e ilustra as descobertas, fornece as lições aprendidas com as limitações e o potencial das ferramentas (Seção 4) e discute as principais tendências e oportunidades de pesquisa para estudos futuros (Seção 5). Por fim, a seção 6 apresenta as conclusões, contribuições e limitações desta pesquisa.

2 MÉTODO

Esta pesquisa consiste em uma revisão sistemática da literatura sobre avaliação do WEF Nexus no contexto da agricultura e se baseou nos procedimentos propostos por Tranfield, Denyer e Smart (2003) os quais constituem-se em 3 estágios: planejamento da revisão, condução da revisão e elaboração de relatórios/divulgação.

2.1 Planejamento da Revisão

No estágio de Planejamento da Revisão, segundo Tranfield, Denyer e Smart (2003), é necessário identificar a necessidade de revisão e para isso realizou-se uma análise preliminar e exploratória sobre os conceitos, métodos e ferramentas relacionados ao WEF Nexus e possíveis oportunidades de pesquisa. Suporte para definição da pergunta de pesquisa, esse estágio inicial possibilitou definir os objetivos do presente estudo, a estratégia para identificação de dados relevantes, além dos testes de aderência de *strings* relacionadas ao tema nas bases de dados.

2.2. Condução da Revisão

Nesse estágio caracterizado por fases que englobam desde a “Identificação de estudos” à “Extração e Síntese de dados”, iniciou-se a busca baseada em palavras-chave e termos de pesquisa oriundos do conhecimento inicial e discussão entre os autores da pesquisa (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003). Assim, por meio da pergunta de pesquisa desenvolvida a partir da etapa anterior “Quais as tendências e ferramentas têm sido apresentadas na literatura científica sobre a avaliação do WEF Nexus na agricultura?” este estudo realizou os testes de aderência das *strings* nas bases *Web of Science* e *Scopus*.

Para tanto, utilizou-se três campos de busca referentes: (1) ao contexto de agricultura; (2) à avaliação e (3) à interação Water-Energy-Food Nexus. O Quadro 1 apresenta os termos de busca e suas respectivas variações em cada campo durante a pesquisa.

Quadro 1 - Campos de pesquisa e palavras-chave

Campos de Pesquisa	Palavras-chave	Campo da Busca
(1) Contexto de agricultura	agr* OR farm* OR livestock* or crop* or grow* or irrigat*	"Title, abstract or keyword"
(2) Avaliação	assess* OR model* OR eval* OR indicator* OR performance	"Title"
(3) Interação <i>Water-Energy-Food</i> <i>Nexus</i>	"WEF nexus" OR "FEW nexus" OR ((water AND energy AND food) AND Nexus)	"Title, abstract or keyword"

Fonte: Autores (2022)

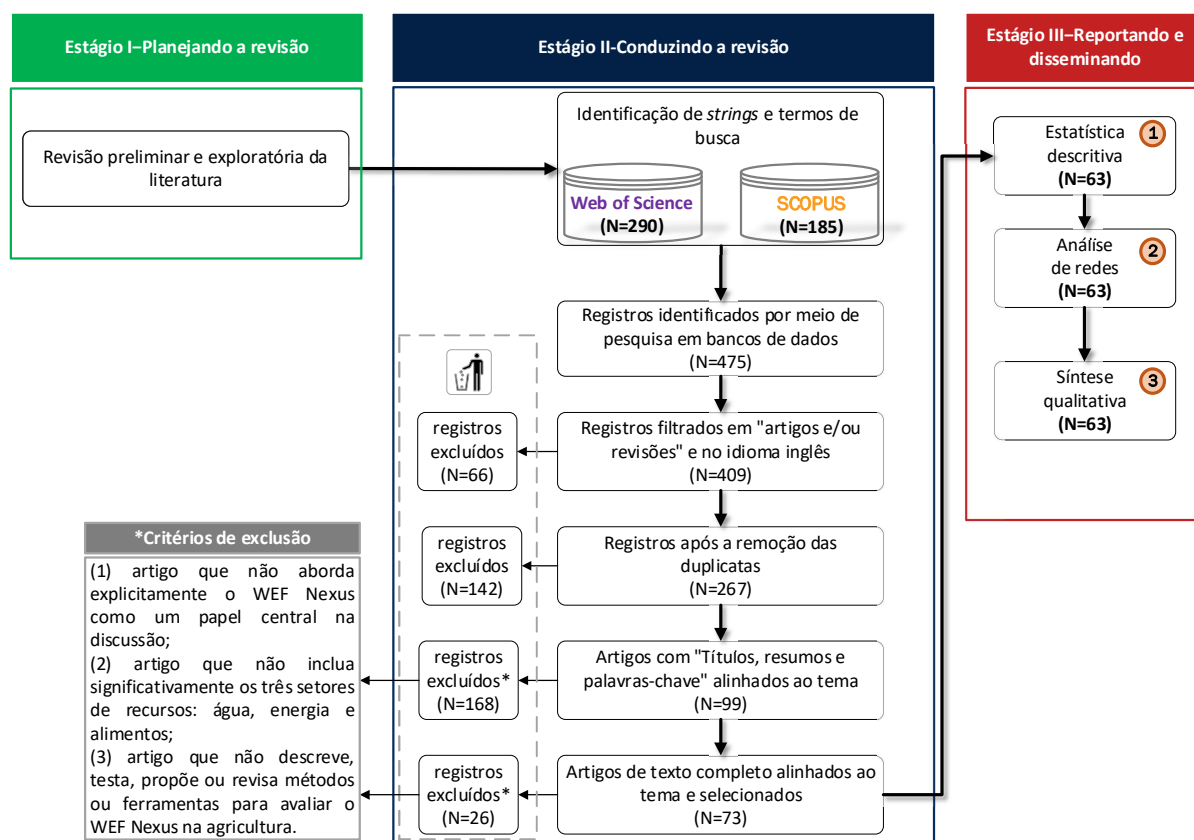
As buscas nas bases *Web of Science* e *Scopus* foram realizadas em novembro de 2021 e resultaram em uma amostra inicial de 475 artigos. Em seguida, utilizou-se dois critérios de inclusão:

- Apenas artigos e revisões, pois têm a revisão por pares mais rigorosa e uma maior qualidade dos estudos;
- Artigos em inglês.

Depois da aplicação desses filtros, dos 475 artigos inicialmente encontrados nas duas bases, a amostra bruta foi reduzida para 409 estudos: 256 artigos da base WoS e 153, da SCOPUS. Nessa amostra, 142 estudos duplicados foram identificados e removidos, resultando em 267 artigos para leitura de títulos, resumos e palavras-chave, pois Tranfield, Denyer e Smart (2003) recomendam que as análises visem o alinhamento com o tema da pesquisa.

Assim, adotou-se 3 critérios de exclusão a fim de refinar a amostra conforme o objetivo de pesquisa: (1) artigo que não trata explicitamente o WEF Nexus como papel central na discussão; (2) artigo que não inclui significativamente os três setores dos recursos: água, energia e alimento; (3) artigo que não descreve, testa, propõe ou revisa métodos ou ferramentas para avaliar o WEF Nexus na agricultura. Após a aplicação dos critérios propostos e exclusão dos artigos que atenderam a nenhum dos critérios de seleção, a amostra resultou em 99 estudos. Através da leitura integral desses estudos, para garantir a consistência do método de revisão, 26 artigos sem alinhamento com o tema foram descartados. Portanto, este estudo excluiu 402 artigos dos 475, inicialmente, identificados (84,63%). Assim, o portfólio final para análise totalizou 10 artigos (2,1%) classificados como 'estudos de revisão' e 63 artigos (13,26%), como 'estudos de aplicação', conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma de desenvolvimento metodológico



Fonte: Autores (2022)

Para realizar o processo de análise dos dados, esta pesquisa utilizou o software Excel® no gerenciamento dos artigos desde a identificação até a seleção do portfólio final, extração dos dados relevantes para o estudo, estatística descritiva e análise de conteúdo. A análise de conteúdo é um método que pode ser aplicado a dados qualitativos ou quantitativos (ELO; KYNGÄS, 2008). Quanto à análise quantitativa e descritiva dos dados, realizada por meio da estatística descritiva, baseada na extração de dados referentes à evolução anual dos estudos, periódicos mais citados, países com maior frequência de desenvolvimento dos estudos e distribuição dos elementos Nexus. Além disso, este estudo realizou as análises de rede de palavras-chave dos autores e referências da amostra selecionada, usando o software VOSviewer®. É importante ressaltar que esta pesquisa utilizou o arquivo de texto "Thesaurus" inserido no software VOSviewer® para geração da rede, pois algumas palavras-chave tinham o mesmo significado, porém diferiam na escrita. Em seguida, os dados foram tratados a fim de padronizar as palavras. Essas análises em conjunto com estatísticas descritivas forneceram uma compreensão geral inicial das características dessa literatura (O.1) discutidas na seção 3.

Posteriormente, para auxiliar o processo de análise qualitativa dos dados, foi realizada uma análise de conteúdo dedutiva. Este tipo de análise geralmente é baseado em trabalhos anteriores (ELO; KYNGÄS, 2008), como revisões de literatura, além de ser frequentemente usada nos casos em que o pesquisador deseja testar novamente os dados existentes em um novo contexto (CATANZARO, 1988). Isso também pode envolver o teste de categorias (MARSHALL; ROSSMAN, 1995), como é o caso deste artigo que se baseou em um modelo de categorização de métodos para avaliação do WEF Nexus proposto por Albrecht; Crooto; Scott, (ALBRECHT; CROOTO; SCOTT, 2018) em uma ampla revisão sistemática da literatura. Assim, esta análise foi adequada para esta pesquisa, uma vez que identificamos a matriz de categorização de métodos através de um estudo anterior, destacando-se, todavia, a agricultura e a categorização agora de ferramentas como o novo contexto de desenvolvimento do estudo.

De posse da matriz de categorização detalhada na Seção X, o próximo passo foi a revisão e codificação dos dados de acordo com as categorias. Nessa etapa, primeiro o estudo identificou a ferramenta aplicada, a base metodológica relacionada e uma breve descrição para cada trabalho selecionado. Logo depois, o estudo realizou a comparação de correspondência com categorias do estudo anterior (ALBRECHT; CROOTO; SCOTT, 2018), conforme propõe Elo; Kyngäs (2008). Nesse processo, foi utilizado o software Excel® para apoiar a codificação e categorização dos termos mencionados. Ademais, discussões periódicas entre os autores viabilizaram o enquadramento das ferramentas nas respectivas categorias. Por fim, para cada estudo de aplicação, especificidades como: potencialidades, limitações e gaps indicados foram identificados, codificados com vínculo às categorias utilizadas no início. Isso permitiu analisar criticamente as ferramentas por categorias temáticas de acordo com a base metodológica usada na aplicação, possibilitando a abstração de lições aprendidas para cada categoria temática. Estas são discutidas (O.2) também na seção 4.

Por último, as análises realizadas anteriormente bem como a investigação crítica das principais lacunas e oportunidades de pesquisa relatadas pelos artigos da amostra selecionada possibilitaram identificar possíveis tendências de temas e propor uma agenda de pesquisas futuras (O.3), como serão apresentadas na seção 5.

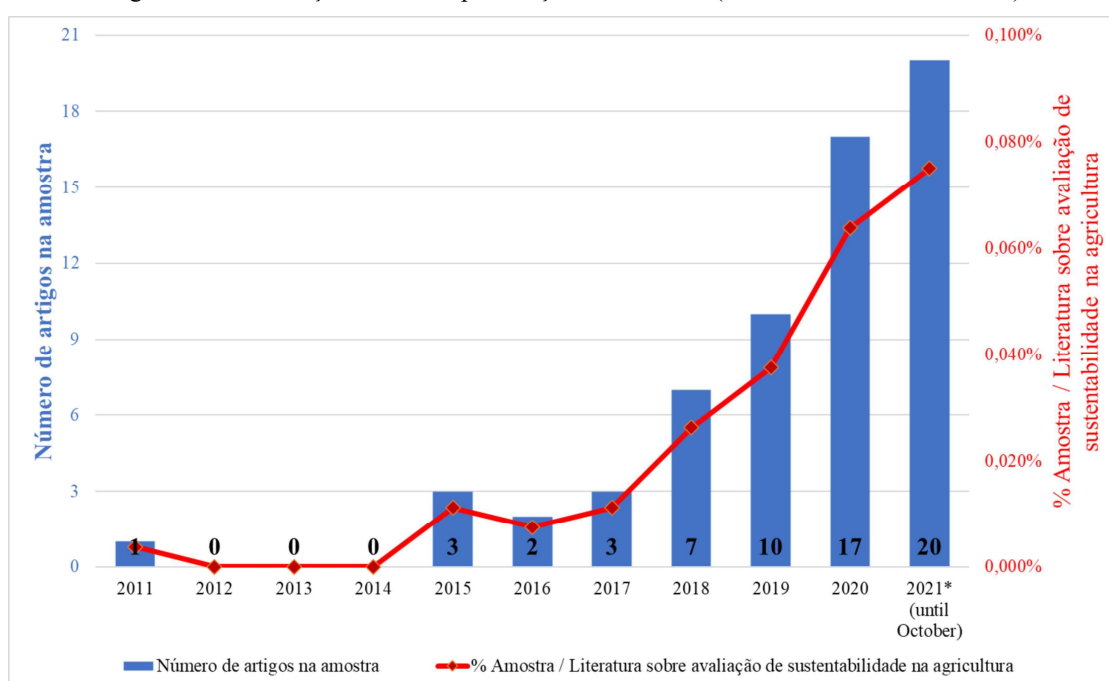
2.3 Elaboração de Relatórios e Divulgação

A terceira etapa de elaboração de relatório e disseminação, cujo objetivo é evidenciar a descrição dos resultados, foi realizada em conjunto com a estatística descritiva, análise de redes e síntese qualitativa dos dados, em que os resultados alcançados são apresentados e discutidos nas próximas seções desse artigo.

3 UMA VISÃO GERAL DA LITERATURA SOBRE WEF NEXUS NA AGRICULTURA

Esta seção visa atender ao primeiro objetivo do artigo (O.1) e apresentar as principais características da literatura sobre a avaliação do WEF Nexus no contexto da agricultura, considerando o subconjunto de 63 “estudos de aplicação”. Assim, a Figura 2 mostra que as publicações sobre o tema são recentes e apresentam crescimento perceptível a partir do ano de 2017.

Figura 2 - Distribuição anual das publicações da amostra (2021* Até outubro de 2021)

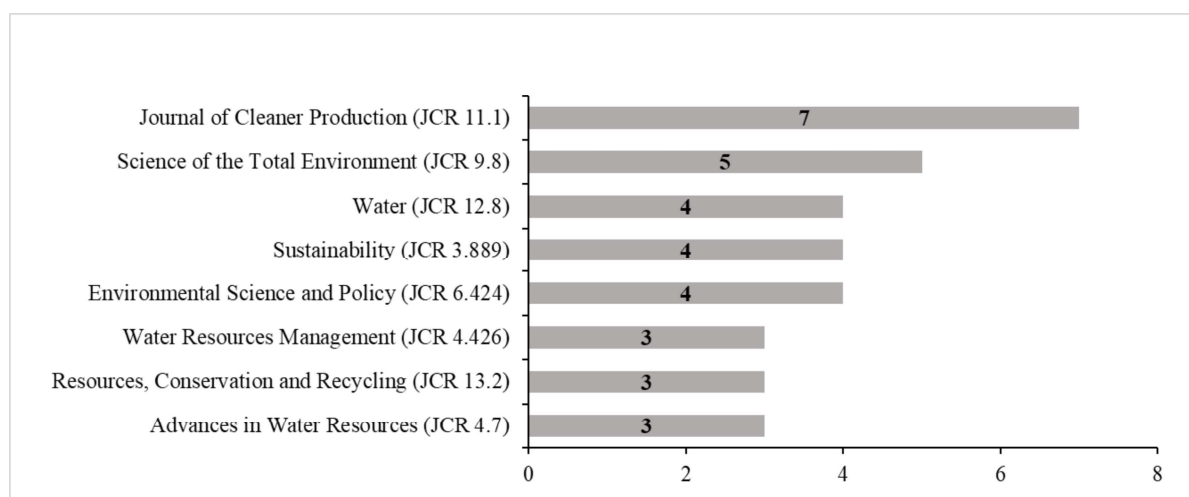


De fato, alguns autores, como Albrecht; Crootof; Scott (2018a) destacam a crescente atenção dada ao tema devido à utilidade do WEF Nexus como abordagem para tomada de decisão, criação de políticas e integração da gestão de recursos (ROSALES-ASENSIO et al., 2020; TIAN et al., 2018). Isso é evidenciado pela intensificação das publicações nos últimos anos e a sua tendência acelerada, pois a Figura 2 apresenta um quantitativo de estudos atual (2021) e expressivo, superior a anos anteriores como 2020, 2019 e 2018, ainda que as buscas se restrinjam até outubro deste ano (2021). Mais da metade (57,8%) foram publicados entre 2020 e 2021. Além disso, essa figura também mostra a representatividade da amostra e a

ascensão do tema, quando comparado à literatura geral sobre avaliação de sustentabilidade na agricultura (linha vermelha).

Os principais periódicos que apresentam pelo menos 3 artigos publicados da amostra total foram listados na Figura 3. É possível verificar a significativa variedade temática entre *journals*, destacando-se o “Journal of Cleaner Production” (fator de impacto JCR 9.297) que apresentou o maior número de artigos na amostra analisada (7 artigos publicados) seguido de “Science of the Total Environment” (5 artigos publicados) (fator de impacto JCR 7.963).

Figura 3 - Principais periódicos com artigos relacionados às *strings* definidas com respectivos valores de fator de impacto JCR

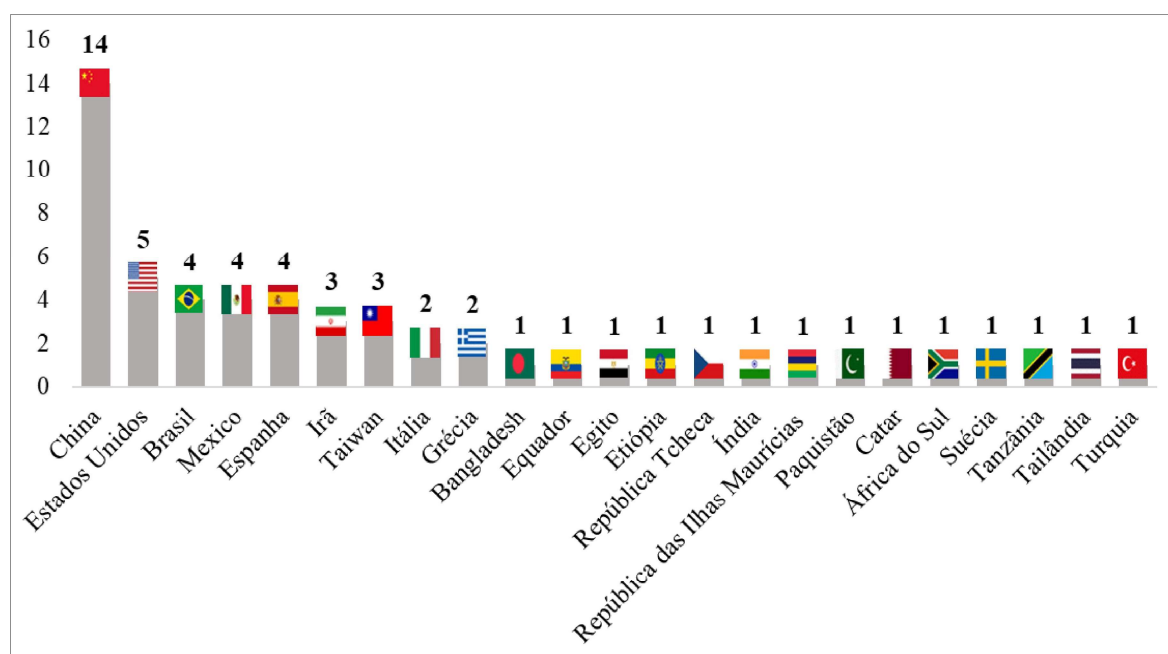


Os dados da Figura 4 indicam os locais onde os estudos foram desenvolvidos. Vale ressaltar que 4 estudos não especificaram os países em que as aplicações foram desenvolvidas e que 6 trabalhos estudaram bacias hidrográficas transfronteiriças que transcendem países asiáticos (Aral Sea Basin, Mekong River Basin) (KING; JAAFAR, 2015; MA et al., 2021; PITTOCK; DUMARESQ; BASSI, 2016), africanos (North Western Sahara Aquifer System) e indianos (transboundary Himalayan river basin) (AMJATH-BABU et al., 2019; RAMIREZ; ALMULLA; FUSO NERINI, 2021) e por essa razão não foram incluídos na Figura, mas buscam a gestão sinérgica do WEF Nexus em meio aos desafios e riscos principalmente em termos de escassez e utilização de água, abastecimento de alimentos, insegurança energética, degradação da biodiversidade e expansão da produção hidrelétrica em bacias hidrográficas.

No geral, os estudos ocorreram foram realizados em 23 países, segundo os autores. A China aparece em primeiro lugar em disparidade com catorze artigos publicados, seguida pelos Estados Unidos, com cinco artigos publicados, e Brasil, México, Espanha, com quatro estudos publicados por cada um.

Wiegleb e Bruns (2018) afirmam que a pesquisa do WEF Nexus é fortemente moldada pelo conhecimento ocidental que é então difundido ou exportado para o Sul Global, com predominância de autores do Norte Global, mas, à exemplo, para o contexto brasileiro esse argumento não encontra respaldo, tendo em vista que países expressam contextos e desafios ambientais e socioeconômicos específicos (DALLA FONTANA et al., 2020), portanto demandam uma visão crítica das suas agendas de pesquisa, especialmente no Sul Global, focalizando questões de pobreza, distribuição e acesso à água, energia e alimentos, sobretudo.

Figura 4 - Distribuição de estudos da amostra distribuídos por país analisado

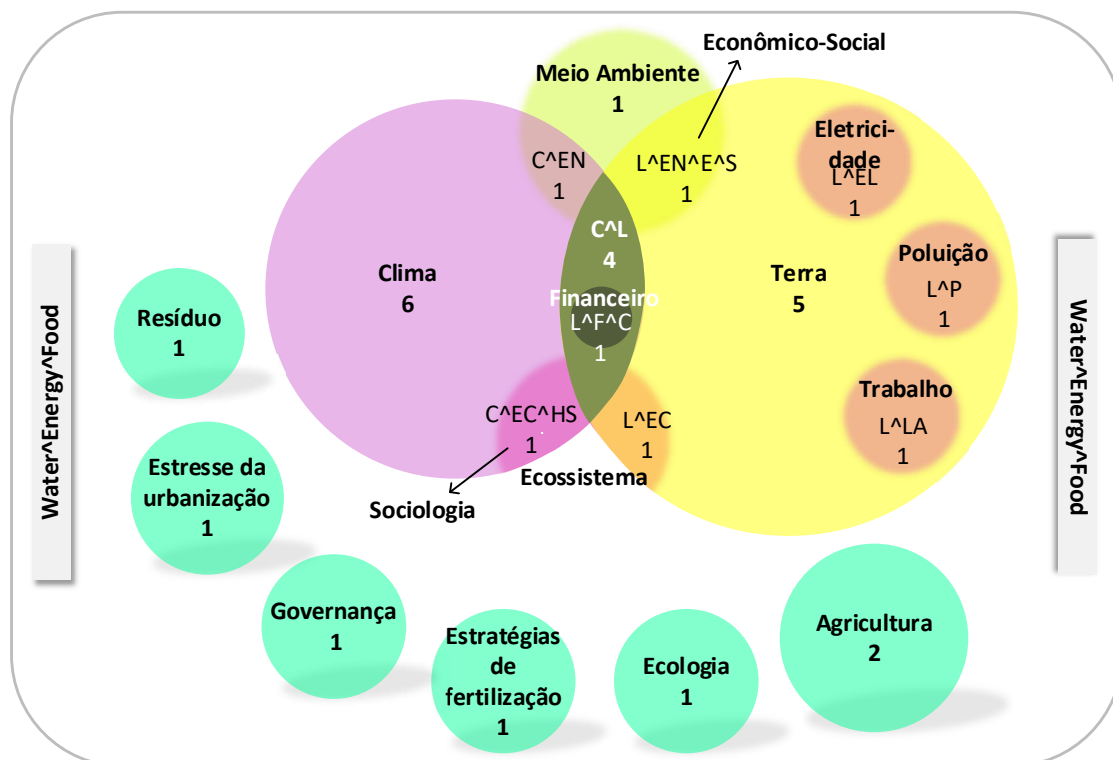


Visando entender as interconexões e interdependências entre os recursos hídricos, energéticos e alimentares, é necessário considerar os três elementos integrados igualmente, ao invés de otimizar o uso de um recurso em detrimento de outro (ALBRECHT; CROOTOFF; SCOTT, 2018; SHANNAK; MABREY; VITTORIO, 2018). Por isso, este estudo analisa apenas aplicações que avaliam significativamente todos os três setores de recursos: água, energia e alimentos. Todavia, o WEF Nexus tem sido ampliado para incluir outras dimensões.

A Figura 5 apresenta os diferentes tipos de arranjo aqui mapeados. Dos 64 estudos, 33 focaram na interação *water-energy-food* e 31 incluíram dimensões extras na análise. As dimensões mais proeminentes são Clima (STONE et al., 2021; YUAN et al., 2018; ZHANG; VESSELINOV, 2017), Terra (ARAUJO et al., 2021; GAO et al., 2021; LAZARO et al., 2021), Agricultura (GONZÁLEZ-ROSELL; BLANCO; ARFA, 2020; LI et al., 2019a), Ecossistema (KARABULUT et al., 2018; TIAN et al., 2018) e Ambiente (GERESSU et al., 2020; ZHENG

et al., 2019). Além disso, foram identificadas outras dimensões que vêm sendo estudadas em estudos de avaliação do WEF Nexus na agricultura, como: Resíduos (LIN et al., 2021), Estratégias de fertilização (FABIANI et al., 2020), Governança (GHAFOORI-KHARANAGH et al., 2021), Trabalho (DAS; SAHOO; PANDA, 2020), dentre outras.

Figura 5 - Elementos Nexus identificados na amostra



Araujo et al. (2021) exploraram os *trade-offs* simultâneos decorrentes da produção de água, energia e alimentos em terras áridas, enfatizando a estrutura da paisagem (uso da terra) e o papel dos serviços ecossistêmicos para melhorar os meios de subsistência das populações locais. Os autores fornecem quatro lições práticas que podem orientar o projeto de agropaisagens sustentáveis e a manutenção de serviços ecossistêmicos do WEF Nexus em terras secas tropicais. Yue et al. (2021) propõem um modelo de gestão abrangente na perspectiva do *WORLD nexus* (água-energia-alimento-mudança climática-terra) com foco no desenvolvimento socioeconômico, segurança dos recursos e mitigação do aquecimento global por meio da alocação conjunta de recursos hídricos e terrestres em uma estrutura de otimização. O modelo abrangeu disponibilidade de água, produção agrícola, dados socioeconômicos e emissão de CO₂ e provou ser uma ferramenta útil e flexível para explorar estratégias de gestão sustentável. Lazaro et al. (2021) desenvolveram um modelo analítico qualitativo para avaliar água-energia-alimento-terra (WEFL) na produção de biocombustíveis e revelam como as políticas,

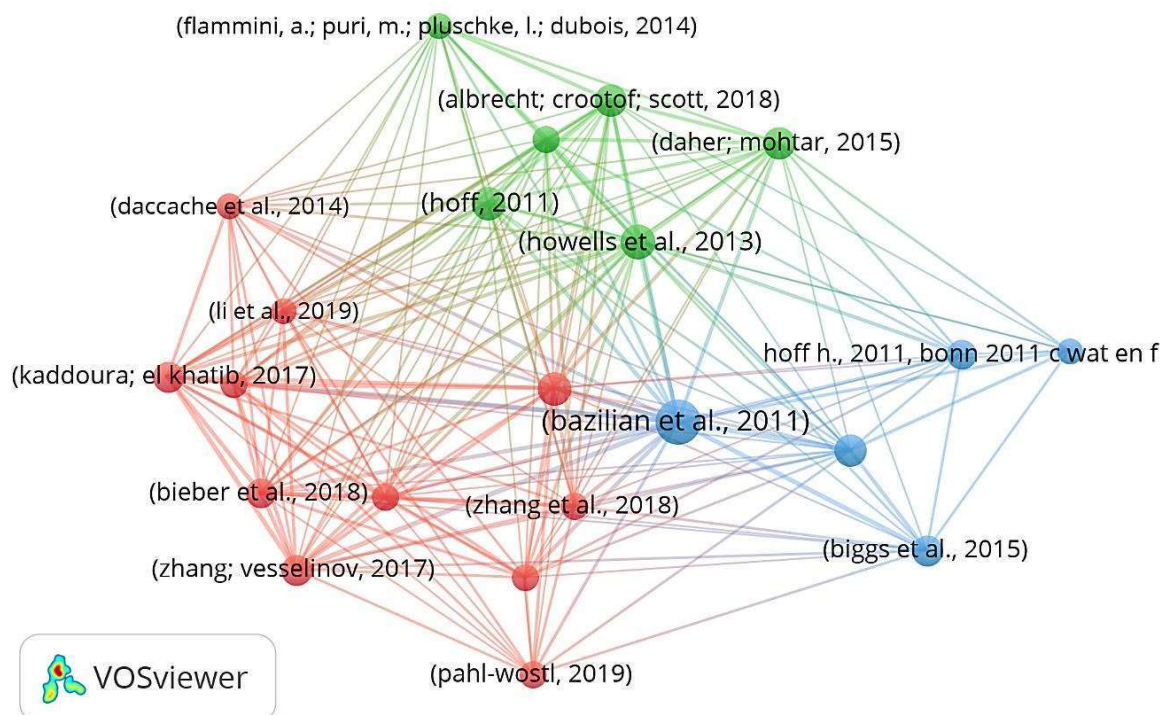
regulamentações e iniciativas de negócios tem falhado ao iniciar o planejamento conjunto entre os setores na expansão dos biocombustíveis, comprovando a necessidade imprescindível de planejamento intersetorial.

No entanto, alguns estudiosos fazem críticas relevantes à literatura do WEF Nexus. A primeira delas é com relação ao foco muito grande dado às interconexões físicas ou técnicas durante as avaliações do WEF Nexus (KLING et al., 2017; LAZARO et al., 2021; MÄRKER; VENGHAUS; HAKE, 2018). Nessas avaliações, as soluções práticas, baseadas em amplas evidências empíricas que integrem estruturas políticas, os meios de subsistência, o meio ambiente e processos necessários para a governança integrada dos recursos são frequentemente omitidos (GHAFOORI-KHARANAGH et al., 2021; MÄRKER; VENGHAUS; HAKE, 2018; SIMPSON; JEWITT, 2019). Esse fato converge com a maioria das ferramentas de avaliação permanecer teórica ou adotar uma abordagem setorial para a gestão de recursos (ALBRECHT; CROOTOF; SCOTT, 2018; BAZILIAN et al., 2011; NHAMO et al., 2020).

Isso ressalta a necessidade de ferramentas para examinar mais do que apenas os três componentes do WEF Nexus, incorporando elementos biofísicos/materiais (LAZARO et al., 2021) e aspectos ambientais, econômicos e sociais de forma holística na análise (EL-GAFY; APUL, 2021). Portanto, é útil que haja um reconhecimento crescente da necessidade de considerar o WEF Nexus de forma holística, uma vez que a não consideração abrangente das interdependências pode resultar em medidas inadequadas para gerenciar recursos cruciais e representar uma ameaça ao desenvolvimento socioeconômico e à sustentabilidade ambiental (SARKODIE; OWUSU, 2020; YUE et al., 2021).

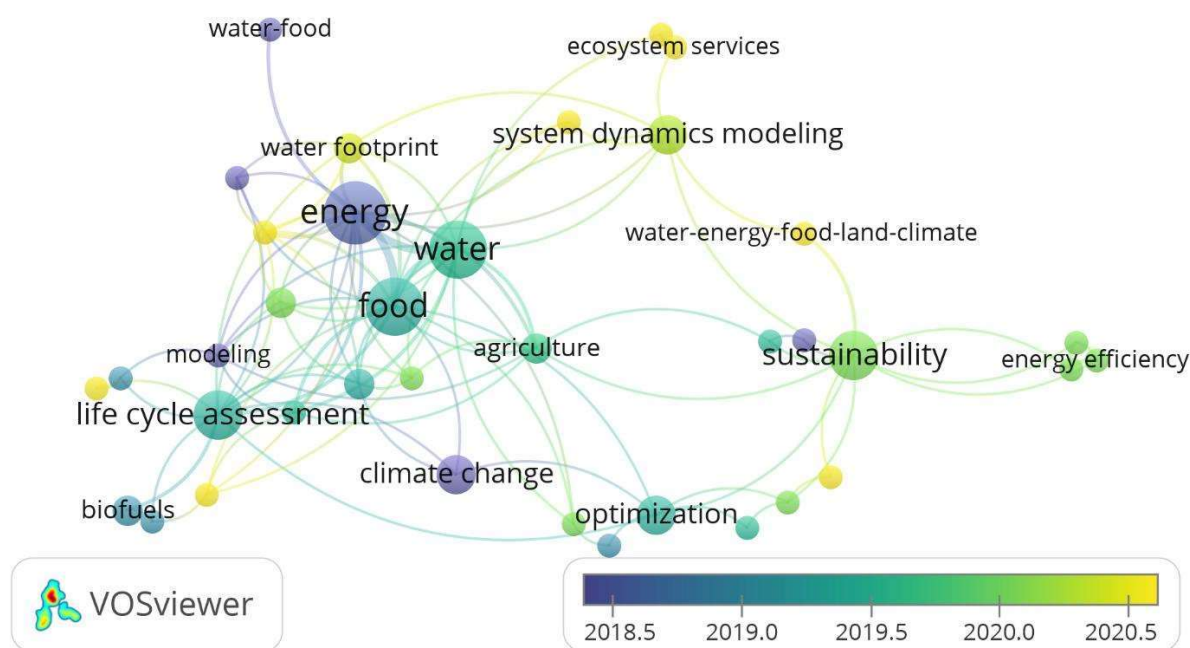
Em termos de referências mais citadas pelos artigos da amostra, a Figura 6 apresenta a formação de 3 *cluster*. Um *cluster* verde tem foco maior em (i) WEF Nexus em geral (conceitos, contextualização do tema, evolução, possíveis intervenções). Alguns autores deste *cluster* defendem que a falta de integração nas avaliações de recursos e na formulação de políticas leva a estratégias inconsistentes e uso ineficiente de recursos (ALBRECHT; CROOTOF; SCOTT, 2018; HOWELLS et al., 2013). Outro *cluster*, em vermelho, focaliza (ii) avaliações integradas do WEF Nexus com técnicas de modelagem, simulação, programação e otimização (BIEBER et al., 2018; LI et al., 2019a; ZHANG; VESSELINOV, 2017), balanço hídrico e energético (DACCACHE et al., 2014) além de *framework* analítico de rede e serviços ecossistêmicos (PAHL-WOSTL, 2019). Por fim, o *cluster* em azul, estudiosos com pesquisas que trataram de (iii) críticas às avaliações convencionais conduzidas, ressaltando a importância de abordar o acesso à serviços básicos (BAZILIAN et al., 2011) e aos meios de subsistência (BIGGS et al., 2015a) para segurança do WEF Nexus em múltiplas escalas espaciais e níveis institucionais.

Figura 6 - Co-citação das referências mais citadas pelas referências da amostra



A fim de concluir as principais características da literatura sobre a avaliação do WEF Nexus no contexto da agricultura, uma rede de co-ocorrência de palavras-chave ao longo dos anos foi elaborada, por meio do *software Vosviewer*, com o intuito de identificar temas mais atuais e, assim como as análises anteriores, apoiar a proposição de uma agenda de pesquisa para estudos futuros. Na rede de palavras-chave originada (Figura 7), os critérios de filtro foram definidos em um mínimo de duas ocorrências para cada palavra-chave, resultando em 37 palavras-chave, isto é, utilizadas pelo menos duas vezes simultaneamente por dois artigos da amostra.

Figura 7 - Rede de co-ocorrência de palavras-chave da amostra ao longo dos anos (baseado nas palavras-chave dos autores).



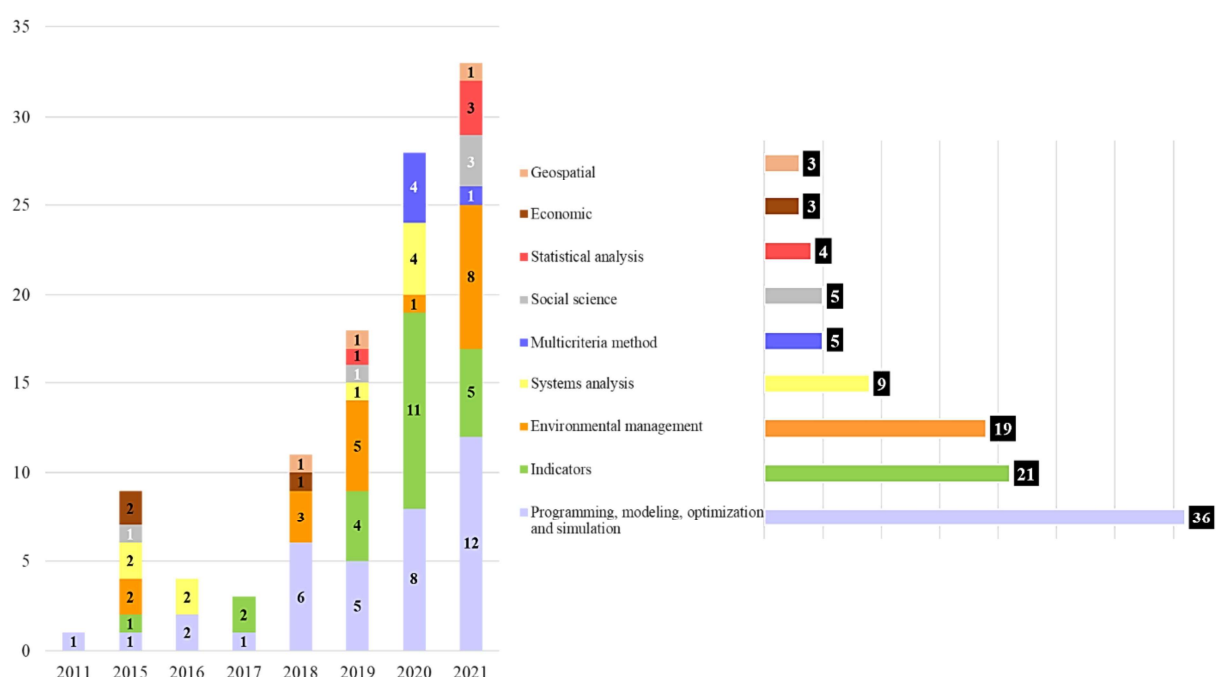
Com base na Figura 7, foi possível identificar as palavras-chave que estiveram em maior evidência nos últimos anos e conseqüentemente alguns dos temas tendências da literatura de avaliação do WEF Nexus no contexto da agricultura. Dentre as palavras destacadas em amarelo (incidência maior a partir de 2020), as que tiveram maior evidência foram: “system dynamics modeling” com 5 co-ocorrências, “water footprint” com 3 co-ocorrências e “integrated modeling”, “ecosystem services”, “water-energy-food-land-climate“, “sustainable development goals”, “cassava”, “vegetable supply chain”, “semiarid climates” com 2 co-ocorrências cada. No geral, essas palavras se relacionam à temas que têm oportunidade para novas pesquisas e podem contribuir com a ampliação dos estudos e operacionalização do WEF Nexus na prática.

4 LIÇÕES APRENDIDAS COM AS LIMITAÇÕES E POTENCIALIDADES DAS FERRAMENTAS

A fim de mapear as ferramentas que são comumente empregadas na avaliação do WEF Nexus na agricultura (O.2), foi realizada a categorização desses dados em 9 áreas temáticas que

representam as diferentes disciplinas e seus principais temas de investigação. Essas áreas temáticas são refletidas, sobretudo, na variedade de *journals* onde os estudos vêm sendo publicados e corroboram as tendências anuais crescentes do uso do WEF Nexus como ferramenta de avaliação na agricultura (Figura 2 e 3). Os artigos de aplicação prática possibilitam a compreensão da avaliação de sustentabilidade. Muitos estudos usaram uma ou mais ferramenta de avaliação, portanto, o total de ferramenta excede o número total de estudos revisados já que cada artigo pode ser classificado em mais de uma área temática, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Distribuição por ano das categorias de ferramentas para avaliação das interações do WEF Nexus



As categorias das ferramentas foram elaboradas tomando como base um estudo que realizou uma ampla RSL sobre os métodos do WEF Nexus para fornecer uma base de conhecimento das abordagens existentes e promover o desenvolvimento de métodos analíticos que se alinham ao nexus thinking (ALBRECHT; CROOTOFF; SCOTT, 2018). Esses autores propuseram as seguintes categorias para ferramentas: *food system modeling*, *energy modeling*, *statistics*, *hydrologic modeling*, *geospatial*, *system analysis*, *integrated modeling*, *indicators*, *social science*, *economic* e *environmental management*. A modificação feita pelo presente estudo é em relação a nova categoria que surgiu: “*Multicriteria*” e ao agrupamento de ferramentas de modelagem na categoria “*Programming, modeling, optimization and simulation*”. Outro diferencial é o novo contexto adotado com ênfase em ferramentas aplicadas na agricultura. Além disso, este tudo realiza uma síntese qualitativa das potencialidades e

limitações de cada categoria temática das ferramentas de avaliação. Com base nesses aspectos, este estudo apresenta uma série de lições aprendidas para avançar no campo. Por fim, discutimos lacunas e tendências sobre as avaliações conduzidas à luz do nexus thinking na agricultura.

Em geral, como mostrado na Figura 8, dentre as diversas categorias de ferramentas identificadas, a predominância de aplicações oriundas das categorias de programação, modelagem, otimização e simulação, bem como de indicadores foram mais destacadas na literatura. Ferramentas de programação, modelagem, otimização e simulação foram utilizadas em 56,2% dos estudos (36 de 64); ferramentas baseadas em indicadores foram aplicadas em 32,8% dos estudos (21 de 64). As ferramentas da categoria de programação, modelagem, otimização e simulação mais envolveram modelagem integrada, modelagem dinâmica de sistemas, otimização multiobjetivo, modelagem otimizada sob incerteza. Já na categoria de indicadores, as métricas e índices específicos do WEF foram amplamente aplicados para a avaliação.

Conforme mencionado, grande parte dos estudos aplicou simultaneamente ferramentas de categorias distintas, mas relacionadas entre si. Mais comumente, estão as aplicações das categorias de Gestão ambiental e Análise de Sistema. Basicamente, existe uma ferramenta prevalecente na primeira categoria: *Life Cycle Assessment* (LCA) (utilizada em 10 dos 19 estudos enquadrados nessa categoria). Dentre os diversos usos desta ferramenta, esta pesquisa cita a utilidade para medir as emissões produzidas pelos sistemas alimentares desde a origem (produção) até o destino final (transporte e consumo), avaliando os impactos ambientais oriundos de cada etapa (NOTARNICOLA et al., 2017; STONE et al., 2021). Uma das principais aplicações em Análise de Sistema é a *Material Flow Analysis* (MFA). Esta é uma ferramenta que possibilita quantificar e aproximar os fluxos de biomassa, água e energia para uma situação atual bem como cenários futuros, apoiando o gerenciamento de recursos nas cadeias de suprimentos a longo prazo (AL-ANSARI et al., 2015; FABIANI et al., 2020; NGAMMUANGTUENG; JAKRAWATANA; GHEEWALA, 2020).

Por fim, a Figura 6 apresenta a distribuição por ano das categorias de ferramentas. Essa pesquisa observa que duas categorias, *Social Science* e Método Multicritério, são mais recentes e expressivas em quantidade de estudos desenvolvidos. Portanto, podem ser destacadas como tendências de interesse nos estudos de avaliação do WEF Nexus. A categoria de Ciências Sociais inclui ferramentas como *workshops*/grupos focais participativos, análise socioeconômica, e processos participativos. Já a categoria de método multicritério permite lidar com a complexidade do ambiente analisado, possibilitando que diferentes variáveis sejam

agregadas e analisadas através de ferramentas mais comuns como *multi-criteria decision making* (MCDM) *analysis* e *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Assim, existem compensações complexas entre os recursos WEF que precisam ser consideradas simultaneamente para refletir o conceito integrado e capturar o feedback interativo entre o sistema WEF e o ambiente externo durante as avaliações de sustentabilidade (QIAN; LIANG, 2021).

As categorias de ferramentas existentes revisadas nos parágrafos anteriores são exemplos representativos de aplicações para avaliar diversos cenários de WEF Nexus, cujos resultados são usados para formular políticas, apoiar a tomada de decisão em relação ao desenvolvimento sustentável, bem como a segurança dos recursos dentro de um sistema. As ferramentas existentes apresentam limitações e potencialidades, o que oferece oportunidades para inovar e melhorar a avaliação de sustentabilidade dos sistemas WEF. Assim, as principais limitações e os potenciais a serem buscados em avaliações futuras são identificados no Quadro2 e discutidos respectivamente.

Quadro 2 - Quadro-resumo das especificidades e ferramentas utilizadas no escopo do WEF Nexus na agricultura

Categoria	Ferramentas usadas	Potencial de aplicação	Limitação da ferramenta	AutoresReferências
<i>Programming, modeling, optimization and simulation</i>	CLEWS; EWF nexus tool; AWEFSM; WFO; WFO-SIA model; Regional System for FEW nexus; Indus Basin Model Revised-Multi Year; SD-WFE model; WFENI; GIS-OptiCE; System Thinking (ST); Standard Modules (SMs) include; Advanced Sankey and Chord diagrams; DEA model; Integrated Hydro-Economic Optimization Model for the LMRB (IHEOM-LMRB); CFFP-based WFE nexus model; Wrapper DSSAT-GREET; NSI-based model; Water-food-energy-climate change-land (WORLD); Nexus optimization model; Integrated technology-environment-economics model (ITEEM); China's provincial water-energy-food nexus sustainability index (WEFNI);	Aborda múltiplas escalas espaciais e temporais; captura elementos a mais ao WEF Nexus; e avalia a complexidade das incertezas aleatórias existentes entre objetivos e restrições nos sistemas simultaneamente.	As relações entre água, energia e alimento são expressas em alguns métodos por cotas para simplificação do modelo; suposições simplificadoras sob o sistema; fonte de dados geralmente secundárias; variáveis importantes são negligenciadas devido à falta de dados disponíveis.	(AL-ANSARI et al., 2015; AMJATH-BABU et al., 2019; ANDERSON et al., 2018; ARAUJO et al., 2021; BAKSHIANLAMOUKI et al., 2020; BAZILIAN et al., 2011; CAMPANA et al., 2018; CANSINO-LOEZA; PONCE-ORTEGA, 2021; DAS; SAHOO; PANDA, 2020; DEGIRMENCIOGLU et al., 2019; DO et al., 2020; GAO et al., 2018, 2021; GERESSU et al., 2020; GONZÁLEZ-ROSELL; BLANCO; ARFA, 2020; LASPIDOU et al., 2020; LAZARO et al., 2021; LI et al., 2019a, 2019b, 2021a, 2021b; LIN et al., 2021; MA et al., 2021; PITTOCK; DUMARESQ; BASSI, 2016; RAMIREZ; ALMULLA; FUSO NERINI, 2021; RAVAR et al., 2020; SOBROSA NETO et al., 2018; SUN et al., 2020; TABATABAIE; MURTHY, 2021; THOMPSON et al., 2021; TIAN et al., 2018; YANG et al., 2016; YUAN et al., 2018; YUE et al., 2021; ZHANG; VESSELINOV, 2017; ZHENG et al., 2019)
<i>Indicators</i>	WFENI; Roof Mosaic approach; Sustainable-WEF index; NSI-based model; Water Energy Food (WEF) nexus framework; China's provincial water-energy-food nexus sustainability index (WEFNI)	Simplicidade na identificação e análise de alguns elementos quantitativos chave. O horizonte temporal e espacial é incorporado para mostrar o desempenho de índices para apoiar a tomada de decisões a médio e longo prazo.	níveis variados de disponibilidade de dados a depender do recorte espacial e temporal. Alguns indicadores não são validados com especialistas, e/ou não integram as partes interessadas e/ou não são testados em estudos empíricos.	(ALBERTI et al., 2020; ARAUJO et al., 2021; CANSINO-LOEZA et al., 2020; DAS; SAHOO; PANDA, 2020; DE VITO et al., 2017; EL-GAFY, 2017; FABIANI et al., 2020; FAN; LIN; HU, 2019; GERESSU et al., 2020; GHAFOROORI-KHARANAGH et al., 2021; KING; JAAFAR, 2015; LI et al., 2021c; LIU et al., 2019; NAHIDUL KARIM; DAHER, 2021; NHAMO et al., 2020; QIAN; LIANG, 2021; SÁNCHEZ-ZARCO et al., 2020; SMITH et al., 2020;

Categoria	Ferramentas usadas	Potencial de aplicação	Limitação da ferramenta	AutoresReferências
				TOBOSO-CHAVERO et al., 2019; WOLDE et al., 2021; YI et al., 2020; ZHANG et al., 2019a)
<i>Environmental management</i>	EFW nexus tool; EFWLE nexus synthesis matrix system for food security; Roof Mosaic approach; CROPWAT; Advanced Sankey and Chord diagrams; GIS-based Regional; Wrapper DSSAT-GREET; Sustainable-WEF index; System Dynamic Model for Water-Land-Food-Energy-Environment-Economic-Social Nexus (SD-WLF3ESN); Waste-water-energy-food nexus (WWEF); Roofmosaic framework	Usada para quantificar os impactos ambientais usando a abordagem ACV, mas também apresentar análises espaço-temporais por meio de uma interface SIG (sistema de informação geográfica); auxilia na definição de políticas e estratégias para a gestão.	Ênfase na relação água e energia; usadas para avaliação ambiental e não inclui aspectos de rentabilidade, não aborda com maior rigor a autossuficiência alimentar e limites de uso da água.	(AL-ANSARI et al., 2015; ANDERSON et al., 2018; DEGIRMENCIOGLU et al., 2019; EL-GAFY; APUL, 2021; FAN; LIN; HU, 2019; KARABULUT et al., 2018; LASPIDOU et al., 2020; LIN et al., 2021; NAHIDUL KARIM; DAHER, 2021; RAMIREZ; ALMULLA; FUSO NERINI, 2021; ROIBÁS; ELBEHRI; HOSPIDO, 2015; STONE et al., 2021; TOBOSO-CHAVERO et al., 2021; TOBOSO-CHAVERO et al., 2019; YUAN et al., 2018; ZHANG et al., 2019a)
<i>Systems analysis</i>	EFW Nexus Tool; Indus Basin Model Revised-Multi Year; SD-WFE Model; Qualitative causal loop diagram (CLD) and quantitative system dynamics model (SDM); System Thinking (ST); CROPWAT; Material Flow Analysis; Water Energy Food (WEF) Nexus Framework	Relaciona o consumo de recursos na entrega de um produto ou serviço à capacidade nacional de recursos; estima potenciais trajetórias e tendências futuras do sistema, com base nos fluxos de entrada e saída que variam dinamicamente.	Não identifica os impactos humanos sobre o fornecimento seguro, contínuo e nutritivo de alimentos do subsistema alimentar; Simplicidade dos módulos de análise dos sistemas; algumas aplicações são limitadas à discussão apenas da sustentabilidade econômica e ambiental devido à falta de dados e a variedade de contextos.	(AL-ANSARI et al., 2015; BAKSHIANLAMOUKI et al., 2020; DEGIRMENCIOGLU et al., 2019; FABIANI et al., 2020; NGAMMUANGTUENG; JAKRAWATANA; GHEEWALA, 2020; PITTOCK; DUMARESQ; BASSI, 2016; RAVAR et al., 2020; ROIBÁS; ELBEHRI; HOSPIDO, 2015; YANG et al., 2016)
<i>Multicriteria</i>	Analytic Hierarchy Process (AHP); Multi-criteria decision making (MCDM) analysis; Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS); Diagnosis model based on variable weight; Pressure-state-response (PSR); NSI-based model; China's provincial	Combina métodos objetivos e subjetivos para obter melhores pesos constantes (método híbrido variável); apoia a operacionalização do WEF apoio à decisão do WEF Nexus.	Os pesos atribuídos aos indicadores necessitam ser personalizados para refletir as condições locais de uma área específica; Risco de capturar o efeito dos indicadores dos recursos do WEF Nexus apenas por estimativas quantitativas.	(DAS; SAHOO; PANDA, 2020; NHAMO et al., 2020; QIAN; LIANG, 2021; WOLDE et al., 2021; YI et al., 2020)

Categoria	Ferramentas usadas	Potencial de aplicação	Limitação da ferramenta	AutoresReferências
	water-energy-food nexus sustainability index (WEFNI)			
<i>Social Science</i>	Metabolic patterns of flow and fund elements (MuSIASEM approach); CROPWAT; Socioeconomic analysis; Process Participatory; Roofmosaic framework; Workshops/grupos participativos	Avalia o desempenho socioeconômico e ambiental de um sistema WEF; possibilita e facilita o processo participativo; realizar uma avaliação de sustentabilidade integrada.	Complexidade dos trade-offs entre os parâmetros ambientais, sociais e econômicos; os estudos que utilizaram MuSIASEM approach foram de natureza ilustrativa e utilizaram dados aproximados e estimados.	(GHAFORI-KHARANAGH et al., 2021; ROIBÁS; ELBEHRI; HOSPIDO, 2015; SERRANO-TOVAR et al., 2019; TOBOSO-CHAVERO et al., 2021)
<i>Statistical analysis</i>	linear time-variant IO model Outra(s) ferramentas não nomeadas por autores	captura a distribuição espacial e a evolução temporal na avaliação em diferentes regiões e país.	Impacto da otimização apenas ambiental e econômica no sistema; o efeito de indicadores do WEF Nexus ora foi estimado apenas quantitativamente.	(LI et al., 2021c; TABATABAIE; MURTHY, 2021; WOLDE et al., 2021; ZHANG et al., 2019a)
<i>Economic</i>	CROPWAT; Spatially detailed cost-minimizing model; Input-output analysis	Propõe medidas de melhoria para serem aplicadas na agricultura integrando os pilares da sustentabilidade.	Nas aplicações ocorreram suposições de dados simplificadoras subordinadas aos níveis variados de disponibilidade de dados	(GAO et al., 2018; KING; JAAFAR, 2015; ROIBÁS; ELBEHRI; HOSPIDO, 2015)
<i>Geospatial</i>	GIS-OptiCE; GIS-based Regional Environmental Assessment Tool for Food-Energy-Water nexus (GREAT for FEW); Outra(s) ferramentas não nomeadas por autores	Apoia o detalhamento e a especificidade à nível local de avaliações. Reproduz diferentes cenários para realizar comparação de resultados obtidos.	Possui muitos requisitos de dados; não capta preocupações das partes interessadas; Dados limitados à agricultura de precisão.	(CAMPANA et al., 2018; LIN et al., 2019; RAMIREZ; ALMULLA; FUSO NERINI, 2021)

(i) *Programming, modeling, optimization and simulation*. Entre todas as categorias de ferramentas existentes, “*Programming, modeling, optimization and simulation*” é a categoria de maior predominância. As aplicações dessa classe englobam potencialidades como capacidade de (1) abordar inter-relações complexas entre água, energia e alimentos por uma perspectiva holística (2) considerar simultaneamente objetivos contraditórios (lucro do sistema e emissão de CO₂) e áreas com alta incerteza na disponibilidade de recursos (3) ser aplicável em múltiplas escalas espaciais e temporais (4) capturar elementos a mais ao WEF Nexus e avaliar a complexidade das incertezas aleatórias existentes entre objetivos e restrições nos sistemas de forma simultânea (5) envolver *stakeholders* no planejamento dos sistemas WEF. Essa revisão mostra que o alcance da sustentabilidade pode acontecer através da priorização de políticas (GAO et al., 2018) e programas de gestão de recursos integrados (GONZÁLEZ-ROSELL; BLANCO; ARFA, 2020) ao invés de isolados (BAZILIAN et al., 2011). Consequentemente, quando aplicações focam apenas em políticas energéticas e no impacto ambiental da geração de energia (YUAN et al., 2018), não abordam com maior rigor a autossuficiência alimentar, os limites de uso da água e a gestão de resíduos. Portanto, variáveis e questões importantes são negligenciadas.

(ii) *Indicators*. Em avaliações do WEF Nexus na agricultura, um conjunto de indicadores deve atender aos critérios de ser mensuráveis, sensíveis ao estresse, previsíveis, antecipatórios, controláveis, integrativos, responsivos e estáveis (ALBERTI et al., 2020). Não é possível oferecer uma avaliação do WEF Nexus à nível local se não houver uma visão geral das principais dinâmicas associadas ao WEF em escala local, oferecendo simplicidade na operacionalização do WEF e suporte à avaliação comparativa do sistema de produção agrícola ao longo dos anos e de uma região (DE VITO et al., 2017; EL-GAFY, 2017). Essa pesquisa revela três aspectos principais que devem ser cuidadosamente analisados ao trabalhar com indicadores nas avaliações do WEF Nexus. O primeiro é adequação às especificidades de cada contexto. Os índices precisam ser selecionados de acordo com as características das regiões de pesquisa a fim de capturar elementos quantitativos chave (NHAMO et al., 2020). O segundo aspecto é a disponibilidade de dados. Os níveis variados de disponibilidade, a depender do recorte espacial e temporal, podem limitar a implementação e análise ampla de indicadores, a comparação entre diferentes áreas ou ainda demandarem extensas atividades de monitoramento (KING; JAAFAR, 2015; QIAN; LIANG, 2021). E, finalmente, alguns indicadores não são selecionados por processo consultivo com as partes interessadas e/ou não são validados com especialistas e/ou não são testados em estudos empíricos. Esse estudo reforça que esse aspecto

é essencial em avaliações de sustentabilidade, pois é possível, assim, identificar os setores mais vulneráveis (SÁNCHEZ-ZARCO et al., 2020) e as soluções para melhorar o valor quantitativo considerando projeções de cenário futuras (FABIANI et al., 2020).

(iii) *Environmental management*. Essa pesquisa mostrou que três potencialidades principais estão associadas às ferramentas dessa categoria. Primeiro, é possível incorporar valores de autossuficiência e sustentabilidade às avaliações do WEF Nexus ao quantificar os impactos ambientais usando, frequentemente, a abordagem ACV (avaliação do ciclo de vida) (DEGIRMENCIOGLU et al., 2019; LIN et al., 2019). De fato, as avaliações devem expandir o conceito WEF e estudar sua ligação com o meio ambiente, aspectos econômicos, sociais e de governança de modo holístico. Segundo, há uma tendência de aplicação de tecnologias ao apresentar análises espaço-temporais por meio de interface SIG (sistema de informação geográfica) aumentando a capacidade de processar dados espaciais complexos (LIN et al., 2019; RAMIREZ; ALMULLA; FUSO NERINI, 2021). Em terceiro lugar, as avaliações são capazes de auxiliar na definição de políticas e estratégias para a gestão sustentável dos recursos na medida em que são utilizadas como um esquema de orientação para os tomadores de decisão a fim de integrar elementos do WEF com base no pensamento de avaliação do ciclo de vida (EL-GAFY; APUL, 2021). No entanto, é importante destacar que há a necessidade de abordar nas avaliações a autossuficiência alimentar, os limites de uso da água e a gestão de resíduos com maior rigor, além de incluir projeções financeiras (NAHIDUL KARIM; DAHER, 2021) e ser de fácil compreensão e apreciação para as partes interessadas (LASPIDOU et al., 2020).

(iv) *Systems analysis*. Essa categoria é composta por ferramentas concentradas em integrar vários sistemas de produtos. A análise pode criar um modelo para o fluxo total de material e energia, descrevendo a relação paralela entre os sistemas de produtos e os subsistemas de apoio (energia, água e alimentos) (AL-ANSARI et al., 2015). Assim, três potencialidades são destacadas nessa categoria: (1) geralmente resulta em dados de entrada úteis para análise detalhada de ACV (NGAMMUANGTUENG; JAKRAWATANA; GHEEWALA, 2020), (2) estima potenciais trajetórias e tendências futuras do sistema, com base nos fluxos de entrada e saída que variam dinamicamente (BAKHSHIANLAMOUKI et al., 2020), (3) auxilia a análise sistemática ao mapear e identificar as ligações entre setores do WEF (PITTOCK; DUMARESQ; BASSI, 2016). Portanto, em geral, auxilia no processo de consulta às partes interessadas (FABIANI et al., 2020), fornece indicadores mais adaptados às condições atuais em estudo (ROIBÁS; ELBEHRI; HOSPIDO, 2015) e apoia o gerenciamento sustentável de

recursos para a bioeconomia (NGAMMUANGTUENG; JAKRAWATANA; GHEEWALA, 2020). Nessa categoria, deve haver maior atenção aos detalhes do fluxo em alguns subsistemas, em especial de alimentos e suas demandas por água. Ravar et al. (2020) relata a ausência de um subsistema econômico para avaliar os fluxos de capital como uma limitação. Desse modo, a análise dos trade-offs econômicos e ambientais na produção de um único produto é uma limitação. Além disso, identificar os impactos sobre o fornecimento seguro, contínuo e nutritivo de alimentos do subsistema alimentar é crucial à segurança alimentar e ao bem-estar humano (BIGGS et al., 2015b).

(v) *Multicriteria*. Outra categoria de ferramentas é destinada àquelas que adotam ferramentas de multicritério para estabelecer matematicamente relações numéricas entre recursos de água, energia e alimentos na agricultura. Na amostra de artigos dessa categoria, a maioria (80%) utiliza Analytic Hierarchy Process (AHP). As principais vantagens identificadas nessa categoria são: apresentação hierárquica do problema, comparações pareadas na escolha de preferências e flexibilidade (NHAMO et al., 2020). Portanto, especialmente em avaliações do WEF Nexus na agricultura, as ferramentas de multicritério desempenham um papel importante na simplificação, interpretação e conversão das complexas interações entre os recursos do WEF Nexus em formulações simples que podem ser compreendidas pelas partes interessadas (NHAMO et al., 2020; QIAN; LIANG, 2021). Todavia, esta pesquisa observa que os pesos atribuídos aos indicadores necessitam ser personalizados para refletir as condições localizadas em uma específica área e deve haver atenção com o risco de capturar o efeito dos indicadores dos recursos do WEF Nexus apenas por estimativas quantitativas.

(vi) *Social Science*. Essa categoria, geralmente, dá importância para a avaliação do desempenho socioeconômico e ambiental de um sistema local sob abordagem cooperativa, em vez de desenvolver cenários meramente técnicos (GHAFOORI-KHARANAGH et al., 2021), além de possibilitar e facilitar o processo participativo em suas aplicações (SERRANO-TOVAR et al., 2019). Sim, as avaliações de WEF Nexus exigem um *caráter participativo*. Na amostra selecionada, o caráter participativo muitas vezes se dá por *workshops*/grupos focais participativos (GHAFOORI-KHARANAGH et al., 2021) ou processos participativos como Avaliação Integrada em Multi-escala do Metabolismo Societal e Ecossistêmico (TOBOSO-CHAVERO et al., 2021). Este estudo revelou que, as aplicações encontraram a complexidade dos *trade-offs* entre os parâmetros ambientais, sociais e econômicos, alguns estudos foram de natureza ilustrativa e utilizaram dados aproximados e estimados (ROIBÁS; ELBEHRI;

HOSPIDO, 2015; SERRANO-TOVAR et al., 2019). Serrano-tovar et al., (2019) utilizaram *MuSIASEM approach* em que informações relevantes como fatores determinantes para melhorar os meios de subsistência ou o bem-estar social não foram coletados na forma de pesquisa participativa envolvendo os atores locais. Consequentemente, é limitada como análise para informar políticas específicas de gestão do WEF Nexus.

(vii) Statistical analysis. Para efetuar a análise comparativa estatística, as ferramentas dessa categoria utilizaram regressão linear simples, análises de sensibilidade e incerteza em modelo de análise de caminho (PAM) e método fuzzy variável. As principais potencialidade dessa categoria de ferramentas são: (1) a captura da distribuição espacial e a evolução temporal nas avaliações em diferentes áreas (LI et al., 2021c) e (2) a possibilidade de comparação entre o efeito de duas ou mais fontes de incerteza na produção global de sistemas (TABATABAIE; MURTHY, 2021). Em alguns casos, a avaliação dos riscos internos e externos associados ao WEF em uma área específica pode resultar na proposição de ações estratégicas para lidar com os riscos identificados no estudo (ZHANG et al., 2019a). No entanto, é importante destacar que, embora os resultados de análises estatísticas possam ajudar a otimizar custos e impactos ambientais, as soluções nem sempre são viáveis na prática, ou seja, estimar apenas quantitativamente as medidas para melhorar o nível de segurança de água, energia e alimentos podem resultar em ser tão genéricas quanto superficiais (LI et al., 2021c; WOLDE et al., 2021).

(viii) Economic. As aplicações dessa categoria de ferramentas usaram métodos como: (1) modelo de minimização de custos espacialmente detalhado (GAO et al., 2018), (2) análise de entrada-saída (KING; JAAFAR, 2015) e (3) análise da cadeia de valor (ROIBÁS; ELBEHRI; HOSPIDO, 2015). As aplicações tiveram forte ligação com o desenvolvimento de políticas para gestão econômica do WEF Nexus. Essa ligação é marcada pelo fornecimento de modelos de otimização e avaliação de políticas para informar decisões sobre a gestão do WEF em contexto regional. Dentre as limitações, ocorreram várias suposições simplificadoras, principalmente ditadas pela disponibilidade de dados. Por exemplo, GAO et al., (2018) consideraram em sua análise apenas o aspecto espacial, enquanto o aspecto temporal é ignorado. Também não incluiu custos de tecnologias que melhorem a eficiência da irrigação. Assim, para estudos futuros esta pesquisa recomenda o uso de método estocástico que permita o tratamento explícito de incertezas, variabilidade e soluções robustas.

(ix) Geospatial. A última categoria de ferramentas é a geospatial. Essa categoria trabalha dois aspectos principais. O primeiro é a capacidade de apoiar avaliações mais detalhadas e específicas da área estudada, já que dados de satélite de alta resolução em tempo real são bastante utilizados (CAMPANA et al., 2018). E o segundo aspecto é o emprego extensivo na agricultura de precisão fornecendo dados de apoio à gestão da seca (CAMPANA et al., 2018; RAMIREZ; ALMULLA; FUSO NERINI, 2021). Durante as aplicações, a capacidade de criação de diferentes cenários para comparação é outra potencialidade (LIN et al., 2019). Mas, os estudos revisados não captam preocupações das partes interessadas e os dados frequentemente são restritos à agricultura de precisão, consequentemente, esses dois aspectos limitam as ferramentas dessa categoria. Portanto, os próximos cenários devem procurar incluir contribuições participativas tornando o emprego mais robusto em estudos futuros.

5 DISCUSSÃO: PRINCIPAIS TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES DE PESQUISA

Este estudo revisou artigos publicados sobre a avaliação do WEF Nexus na agricultura. Primeiramente, o estudo discutiu como os artigos evoluíram ao longo do tempo. Este estudo evidencia a intensificação das publicações nos últimos anos e a sua tendência acelerada, inclusive quando comparado à literatura geral sobre avaliação de sustentabilidade na agricultura, o que corrobora a crescente atenção dada ao tema. Para avançar os resultados, este estudo forneceu os locais onde foram desenvolvidos os estudos (China, EUA, Brasil, dentre outros). Nesse momento, embora autores afirmem que a pesquisa do WEF Nexus é fortemente moldada pelo conhecimento ocidental, este artigo destaca a necessidade de uma visão crítica das agendas de pesquisa, especialmente no Sul Global, focalizando questões de pobreza, distribuição e acesso à água, energia e alimentos, sobretudo. Esta indicação é baseada no fato de que as avaliações do WEF Nexus devem ser conduzidas com base nas características específicas da área de estudo. Além disso, foram identificados os principais elementos e tipos de arranjo que têm ampliado o WEF Nexus para incluir outras dimensões, como 1. Clima, 2. Terra, 3. Ecossistema e 4. Ambiente.

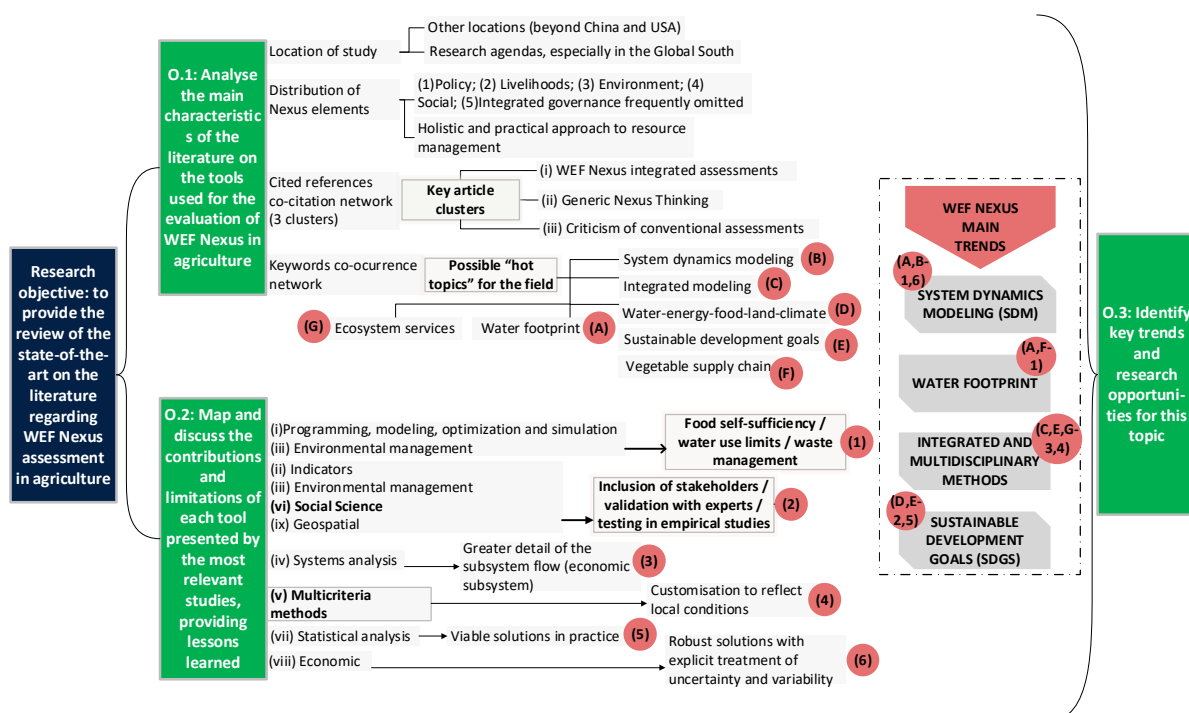
Em resumo, quanto à análise das ferramentas, há uma série de potencialidades que podem ser incorporadas nas próximas avaliações, mas também limitações que servem de alerta para os próximos estudos. Primeiro, a contribuição deste estudo mostra que a natureza das potencialidades envolve a capacidade de abordar inter-relações complexas entre água, energia e alimentos por uma perspectiva holística, o fornecimento de uma visão geral das principais

dinâmicas associadas ao WEF em escala local de modo sistêmico, a integração de tecnologias SIG às análises espaço-temporais, a capacidade de estimar potenciais trajetórias e tendências futuras do sistema, possibilitar e facilitar o processo participativo em suas aplicações e flexibilidade da ferramenta.

Já com relação às limitações, a falta de captar as preocupações das partes interessadas, a realização de suposições simplificadoras, principalmente ditadas pela disponibilidade de dados, a ausência de viabilidade na prática, a não coleta na forma de pesquisa participativa envolvendo os atores locais dos fatores determinantes para melhorar os meios de subsistência ou o bem-estar social, não realizar a personalização dos aspectos da ferramenta para refletir as condições localizadas em uma específica área, o foco apenas em políticas de uma área específica, tudo isso, é apontado como limitação na análise e discussão desse estudo.

Desse modo, esta revisão sintetizou algumas tendências e oportunidades de pesquisas relacionadas ao tema (O.3). A necessidade de inclusão das partes interessadas nas avaliações, validação com especialistas e de estudos empíricos são destacados por quase metade das categorias temáticas de ferramentas, indicando um caminho ainda latente para ser explorado. Ainda existem questões de pesquisa para explorar em profundidade em direção à operacionalização do conceito Nexus na prática. As principais tendências de pesquisa e oportunidades relacionadas estão ilustradas na Figura 9. Elas resultam da união entre a visão geral da literatura e a análise das ferramentas desenvolvidas anteriormente. Portanto, os próximos parágrafos são destinados a discutir o porquê de a literatura atual focar em quatro temas principais e traz indicações de pesquisa que ainda precisam de maior atenção.

Figura 9 - Agenda de pesquisa



A avaliação do WEF Nexus na agricultura sob a ótica de system dynamics modeling (SDM) é o primeiro tema de pesquisa. Esse tema resulta da análise crítica das categorias (i) Programming, modeling, optimization and simulation; (iii) Environmental management (viii); Economic (Seção 4), além da análise da rede de co-ocorrência de palavras-chave ao longo dos anos (Figura 7). Pesquisadores afirmam que a SDM é útil e adequada para a compreensão exploratória de sistemas complexos com muitos componentes interagindo, assim, sua aplicação para avaliar as interações do WEF Nexus está aumentando (BAKHSHIANLAMOUKI et al., 2020; DAI et al., 2018). Além disso, a SDM é adequada para integrar informações quantitativas e qualitativas por meio de modelagem participativa, por isso SDMs participativos são tendência dentro desse tema (BAKHSHIANLAMOUKI et al., 2020; GONZÁLEZ-ROSELL; BLANCO; ARFA, 2020; KIMMICH et al., 2019; RAVAR et al., 2020). Portanto, este estudo indica a realização de mais estudos empíricos utilizando SDM participativo em avaliações do WEF Nexus na agricultura, a identificação e análise de quem deve ser considerado no processo de tomada de decisão, das necessidades e contribuições das partes interessadas. Assim, uma possível questão de pesquisa é: “Como a modelagem participativa captura as necessidades/contribuições das partes interessadas e apoia a gestão sustentável do WEF Nexus na prática?”.

O segundo tema de pesquisa veio da análise da Figura 7 e análise crítica de categorias (i) Programming, modeling, optimization and simulation; (iii) Environmental management; (viii)

Economic (Seção 4). Este tema deve se concentrar principalmente na pegada hídrica das culturas. Water footprint é um indicador capaz refletir os efeitos do acoplamento de água, energia e alimentos e mensurar a sustentabilidade do ecossistema socioeconômico em regiões áridas, por exemplo (ZHANG et al., 2019a). Roibás; Elbehri; Hospido (2015) entendem que a disponibilidade e confiabilidade dos recursos hídricos é um fator limitante para o desenvolvimento econômico em muitas áreas com escassez de água. Considerando a importância dos recursos hídricos em áreas áridas, esta pesquisa recomenda que estudos introduzam índices/ indicadores de pegada hídrica no sistema WEF e avaliem como esses índices/indicadores podem apoiar a busca por tecnologias e políticas ideais para o WEF Nexus e para o uso mais sustentável da água na agricultura.

El-gafy; Apul, (2021) afirmam que, indicadores quantitativos podem ser utilizados como um esquema de orientação para os tomadores de decisão integrarem aspectos de água-terra-alimento-energia-ambiente-econômico-social com base na avaliação do ciclo de vida (LCA), avaliação da pegada ambiental (EFA), avaliação social e econômica (SEA). Assim, os impactos no reuso ou reciclagem da água na agricultura e os padrões imprevisíveis de água da chuva podem ser abordados usando técnicas estocásticas em trabalhos futuros.

Com a ampliação dos estudos sobre WEF Nexus, as pesquisas têm sido direcionadas para o desenvolvimento e adoção de métodos integrados, qualitativos e quantitativos, mistos, interdisciplinares (ciências naturais e sociais, por exemplo) (ENDO et al., 2020). Com isso, no terceiro tema de pesquisa, resultado da análise da Figura 7 e análise crítica de categorias (iv) Systems analysis; (v) Multicriteria (Seção 4), este estudo enfatiza a necessidade de mais estudos multidisciplinares sobre a dinâmica dos recursos WEF relacionada à segurança alimentar, hídrica e energética. Li et al., (2019b) sugere que ao dar mais ênfase na dinâmica do WEF Nexus será possível melhorar aplicabilidade de uma ferramenta de avaliação. Essa ênfase pode incluir correlações mais complexas entre água, alimentos e energia, contribuições participativas e integração de stakeholders nas avaliações, mais formas de incertezas associadas, adoção de perspectivas multidisciplinares e atenção aos contextos locais de aplicação.

Fabiani et al., (2020) ressalta que entender melhor quais são os drivers que levam à agricultura sustentável também é uma oportunidade de pesquisa. Outro aspecto identificado é a necessidade de reunir evidências empíricas e demonstrar a viabilidade prática dos modelos propostos para abordar o WEF Nexus na agricultura, pois conforme Sobrosa Neto et al., (2018) a operacionalização como projeto-piloto facilitaria a visibilidade tangível do modelo proposto.

Por fim, o quarto tema de pesquisa é sobre metas de desenvolvimento sustentável nas avaliações do WEF Nexus. Este tema baseia-se na análise crítica das categorias (ii) Indicators;

(iii) Environmental management; (vi) Social Science; (ix) Geospatial; (vii) Statistical analysis (Seção 4) e apoiado pela análise da Figura 7. Mais pesquisas devem ser realizadas para entender como os dados das ferramentas de avaliação WEF podem apoiar a implementação de estratégias e políticas eficazes para alcançar o desenvolvimento sustentável, com foco no cumprimento dos ODS até 2030. Cansino-loeza et al., (2020) desenvolvem e testam uma ferramenta útil para medir o progresso na segurança do WEF Nexus com base nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Esses autores reforçam a importância do tema e contribuem com identificação de áreas que requerem intervenção imediata para implementação de políticas para o desenvolvimento sustentável. Nhamo et al., (2020) recomendam desenvolver cenários de intervenção que informem os tomadores de decisão sobre como alcançar um gerenciamento de recursos equilibrado para o desenvolvimento sustentável.

Além disso, a mudança climática é uma grande ameaça à gestão de recursos do WEF Nexus para agricultura (ZHENG et al., 2019). Posto isso, para o planejamento de longo prazo no contexto das metas de sustentabilidade, as avaliações precisam ser expandidas para incluir outros objetivos, como, notadamente, as emissões de GEE (GAO et al., 2021) e a ampla gama de necessidades sociais. Portanto, este trabalho recomenda que estudos expandam o conceito convencional de WEF Nexus e investiguem para além do nível individual de um recurso, isto é, considerem a perspectiva sistêmica nas avaliações futuras.

6 CONCLUSÃO, CONTRIBUIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Do ponto de vista teórico, os resultados desse estudo avançam na sistematização da produção científica sobre avaliação do WEF Nexus na agricultura. Esta pesquisa reforça a relevância do tema no contexto atual. Assim, este artigo apresenta três contribuições. Primeiramente, elaboramos um Quadro-resumo (Quadro 2) das ferramentas e especificidades, pois estas possuem limitações e potencialidades que podem ser usadas para melhorar uma avaliação, apoiando-a em seu processo de operacionalização. O principal produto dessas características são lições aprendidas em cada categoria de ferramentas que lançam luz sobre o campo de estudo e podem ser englobadas nas avaliações do WEF Nexus no contexto da agricultura. Em segundo lugar, esta pesquisa propõe uma agenda de pesquisa em direção às avaliações abrangentes, participativas e práticas. Procura apoiar as avaliações das interações entre os recursos numa perspectiva de segurança e sustentabilidade. Em particular, todas as análises realizadas levam à terceira contribuição desta pesquisa, que é a identificação de quatro

vias principais para avançar no tema. Recomendamos (1) a realização de mais estudos empíricos utilizando SDM participativo nas ferramentas de programação, modelagem e otimização, além de (2) dar mais ênfase na dinâmica do WEF Nexus a fim de melhorar aplicabilidade das ferramentas de avaliação. Essa ênfase pode (3) incluir correlações mais complexas entre água, alimentos e energia, contribuições participativas e integração de stakeholders nas avaliações, formas de incertezas associadas, adoção de perspectivas multidisciplinares e (4) dar maior atenção aos contextos locais de aplicação.

Em relação às implicações práticas, as análises resultantes podem ser usadas por diferentes partes interessadas que objetivem obter uma visão geral das ferramentas, tendências e modo como as avaliações do WEF Nexus vêm ocorrendo na agricultura. Indicamos para os profissionais que realizam avaliações do WEF Nexus, a adoção de uma visão mais ampla para apoiar o processo decisório quanto ao uso agrícola mais sustentável dos recursos. As recomendações ora empreendidas, devem levar em conta, evidentemente, a finalidade da avaliação que é particularmente relevante para escolha de uma ferramenta. Uma ferramenta de avaliação da sustentabilidade agrícola varia desde a comunicação dos resultados até o redesenho dos sistemas agrícolas, os aspectos avaliados e os recursos disponíveis para executar a avaliação (CHOPIN et al., 2021).

Por outro lado, este estudo apresenta limitações. Por exemplo, a primeira refere-se ao fato de que a amostra trabalhada inclui apenas artigos acadêmicos publicados em periódicos, não considerando outras categorias como “conference article” e outras. Outra limitação é que as *strings* de busca para definir a amostra retornaram apenas artigos que discutiam o tema “avaliação”, “WEF Nexus” e “agricultura” em conjunto. Além disso, o viés dos autores na interpretação dos dados oriundos da amostra de estudos pode ser outra condição limitante. Porém, foi utilizado o processo de codificação e categorização para tratamento dos dados que revisados ao longo da pesquisa a fim de minimizar tal limitação. Em relação às ferramentas, há um trade-off entre a riqueza de detalhes em cada ferramenta e a síntese para criar uma compreensão holista das categorias temáticas. Portanto, diante das limitações mencionadas, este artigo sugere que estudos futuros ampliem o escopo de pesquisa, abordem diferentes aplicações de ferramentas em estudos de caso, investigando as interações WEF em variados contextos práticos e comparando com as abordagens convencionais existentes na literatura. Afinal, as avaliações abrangentes são o caminho para projetar cenários de sustentabilidade mais viáveis.

ARTIGO 2: WATER-ENERGY-FOOD NEXUS EM PROPRIEDADES DE AGRICULTURA FAMILIAR: DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DE FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO

RESUMO

Este estudo tem como objetivo propor e aplicar uma ferramenta de abordagem sistêmica e participativa para avaliar as interações WEF Nexus em propriedades agrícolas segundo a percepção dos agricultores familiares brasileiros. Para tanto, adotou-se estudos de caso reais, selecionando sete propriedades rurais familiares para a pesquisa. Para a coleta dos dados, foram elaborados um roteiro de entrevista de aplicação da ferramenta seguido de análise de conteúdo. A ferramenta amplia o WEF Nexus e inclui outros elementos provenientes da literatura (*capital, labor, land e livelihoods*) que até então não haviam sido estudados em conjunto com a abordagem WEF Nexus em pesquisas anteriores. Os resultados mostraram que os agricultores perceberam os setores de capital e livelihoods como os mais problemáticos nas propriedades estudadas. O estudo identificou 15 desafios atrelados à perspectiva sistêmica dos setores. Esta pesquisa contribui para uma reflexão sobre o cenário das interações WEF Nexus e quatro novos setores, considerando aplicação prática em contexto local. Os resultados fortalecem que as avaliações do WEF Nexus devem dar importância à participação cívica da comunidade local e demais stakeholders, especialmente entidades públicas governantes. Este estudo analisa desafios enfrentados por propriedades rurais familiares brasileiras sob a ótica da abordagem WEF Nexus.

Palavras-chave: Water-Energy-Food Nexus, Nexus assessment, Case study, Family farming, Livelihoods, Capital

1 INTRODUÇÃO

A abordagem Water-Energy-Food Nexus (WEF Nexus) se destaca por seu potencial de considerar as interdependências entre recursos em uma variedade de escalas espaciais (CAI et al., 2018; SIMPSON; JEWITT, 2019). O termo considera a segurança alimentar, energética e hídrica como inextricavelmente interdependentes que exige uma gestão integrada dos três setores por coordenação intersetorial (PURWANTO et al., 2021; ZHANG et al., 2018). Nesse sentido, um dos principais pontos fortes dessa abordagem é a capacidade de destacar potenciais

sinergias e compensações dentro do WEF Nexus que podem ser negligenciadas em uma única abordagem disciplinar (PROCTOR; TABATABAIE; MURTHY, 2021). Desse modo, as formas tradicionais de gerenciar recursos “em silos” a partir da perspectiva de disciplinas individuais diferem e dão lugar às abordagens sistêmicas que reconhecem a interconectividade dos sistemas (BAZILIAN et al., 2011; DARGIN; DAHER; MOHTAR, 2019).

Diversos autores destacam a importância do conceito de WEF Nexus. Pandey & Shrestha (2017) afirmam que o conceito ganhou notoriedade como uma ferramenta contemporânea para entender e abordar o desenvolvimento sustentável. Outros autores sugerem que integrar holisticamente diferentes setores de políticas é um elemento inovador nas avaliações das interações setoriais (BENSON; GAIN; ROUILLARD, 2015). Embora vários autores argumentem que a natureza interdisciplinar da abordagem não é nova, ela é multicêntrica com cada setor sendo tratado com igual importância (SIMPSON; JEWITT, 2019). Nesse sentido, o WEF Nexus pode ser aceito por um conjunto mais amplo de stakeholders, especialmente aqueles dentro dos setores agrícola e de energia (CAI et al., 2018).

Autores mostram que a agricultura é um dos setores-chave do WEF Nexus (WANG et al., 2021). De fato, a produção agrícola requer grandes quantidades de energia e água na forma de combustível, irrigação e outros insumos necessários para o cultivo, processamento, produção de agroquímicos, sementes e máquinas agrícolas (PROCTOR; TABATABAIE; MURTHY, 2021). Além disso, ao considerar a esfera alimentar do WEF Nexus, a produção de bioenergia como bioetanol e biodiesel requer grandes quantidades de terras e recursos agrícolas, o que pode desencadear concorrência entre os respectivos setores (KARABULUT et al., 2018; LAZARO et al., 2021). Assim, o estudo adequado dos setores-chave do WEF Nexus é crucial para obter benefícios às diferentes partes interessadas.

A avaliação do WEF Nexus vem despertando interesse fundamental em pesquisadores das mais diversas áreas. Algumas revisões e aplicações apresentam o interesse crescente nessa temática sendo possível destacar as contribuições no contexto da agricultura (CORONA-LÓPEZ et al., 2021; ENDO et al., 2020; TOLEDO; SCOGNAMIGLIO, 2021). Por exemplo, algumas pesquisas têm foco mais específico, como o nível da fazenda (HAGHJOO et al., 2022; SMITH et al., 2020), o setor agroindustrial (KARABULUT et al., 2018; LIN et al., 2021) e, as culturas energéticas em nível regional e nacional (BAZILIAN et al., 2011; LAZARO et al., 2021; YUAN et al., 2018). Este grande interesse está associado à complexidade intrínseca de medir (PROCTOR; TABATABAIE; MURTHY, 2021) e buscar operacionalizar o WEF Nexus como estrutura flexível para encontrar as melhores estratégias de gestão de recursos naturais

em todos os setores econômicos e escalas espaciais (FLAMMINI, A.; PURI, M.; PLUSCHKE, L.; DUBOIS, 2014; LIU et al., 2018), incluindo os cenários de produção agropecuária.

Embora muitos estudos contribuam com avanços no tema de diversas formas, alguns aspectos relacionados à avaliação do WEF Nexus na agricultura precisam ser mais bem explorados. A ausência de captar as preocupações das partes interessadas (GONZÁLEZ-ROSELL; BLANCO; ARFA, 2020; LIN et al., 2019), a realização de suposições simplificadoras (BAKHSHIANLAMOUKI et al., 2020; GAO et al., 2018), principalmente ditadas pela disponibilidade de dados, a escassez de viabilidade na prática (TABATABAIE; MURTHY, 2021; YI et al., 2020), a inexistência de flexibilidade para personalização da ferramenta para refletir as condições localizadas em uma específica área (SERRANO-TOVAR et al., 2019; SOBROSA NETO et al., 2018), tudo isso, é apontado como limitação por muitos autores.

Dentre esses aspectos, o envolvimento dos stakeholders é um aspecto-chave destacado na literatura. Serrano-Tovar et al. (2019) enfatizam que informações relevantes aos estudos desenvolvidos devem ser coletadas na forma de pesquisa participativa envolvendo os atores locais para aumentar tanto a qualidade da avaliação quantitativa quanto dar suporte à tomada de decisão (TOBOSO-CHAVERO et al., 2021), indicando processos participativos com agricultores locais para estudos futuros. Outra lacuna associada às abordagens participativas é a maior incidência dos estudos abordando mais macroescalas do que microescalas (BIGGS et al., 2015b; CANSINO-LOEZA; PONCE-ORTEGA, 2021).

Outras críticas feitas ao WEF Nexus é que os meios de subsistência e o meio ambiente são frequentemente omitidos das avaliações (SIMPSON; JEWITT, 2019). Wichelns (2017) e Biggs (2015a) afirmam que as ferramentas não incorporaram adequadamente meios de subsistência, ou seja, segurança de recursos para todos. Ravar et al. (2020) relata a ausência de um subsistema econômico para avaliar os fluxos de capital como uma limitação nas avaliações. Mão de obra é um nó central nas avaliações WEF Nexus à nível local (SMITH et al., 2020). A vinculação das avaliações do WEF Nexus com esses elementos, *land/soil, livelihoods, labor e capital*, é, portanto, imperativa no desenvolvimento de políticas e estruturas de governança para abordar complexos desafios de desenvolvimento e acesso a recursos.

O método MESMIS (Estrutura para a Avaliação de Sistemas de Gestão de Recursos Naturais Incorporando Indicadores de Sustentabilidade) proposto por Masera; Astier; López (2000) é amplamente divulgado para apoiar uma avaliação participativa de sustentabilidade em pequenas escalas, como parcelas de fazendas e comunidades, assim pode contribuir para lidar com os desafios identificados nas avaliações do WEF Nexus.

Dessa forma, considerando as lacunas ora apresentadas e uma possível adaptação do MESMIS, este artigo busca responder à seguinte questão de pesquisa: “Como avaliar as interações water-energy-food (WEF) Nexus no contexto da agricultura familiar, considerando a integração de abordagens sistêmica e participativa?”. Assim, os objetivos desse estudo são:

- (O1) Propor a ferramenta MESMIS-NEXUS, adaptando o método participativo MESMIS para avaliar as interações sistêmicas do WEF Nexus em propriedades agrícolas;
- (O2): Aplicar a ferramenta proposta em propriedades de agricultura familiar por meio de estudos de caso;
- (O3): Identificar desafios e oportunidades de melhoria para as propriedades de agricultura familiar com aplicação da ferramenta MESMIS-NEXUS.

O MESMIS traduz princípios de sustentabilidade em definições operacionais, indicadores e práticas no contexto de Sistemas de Gestão de Recursos Naturais – NRMS camponês (López-Ridaura et al., 2002) . Os ciclos de avaliação do MESMIS são constituídos por seis etapas cíclicas participativas: (i) descrição do sistema de gestão, (ii) determinação de pontos críticos, (iii) seleção de indicadores estratégicos, (iv) medição e monitoramento de indicadores, (v) apresentação e integração dos resultados, (iv) conclusões e recomendações. As etapas requerem abordagens interdisciplinares e integradoras; mistas quali -quantitativo; e participativa, para que a complexidade dos fenômenos ambientais e socioeconômicos sejam devidamente considerados durante as avaliações. Portanto, integrando a estrutura MESMIS com a abordagem *WEF Nexus*, a presente pesquisa propõe uma estrutura de avaliação MESMIS-Nexus para o nível de propriedade.

Para atingir o objetivo, este artigo possui cinco seções, incluindo esta introdução. A Seção 2 apresenta os procedimentos metodológicos para o estudo de caso, decrevendo os procedimentos para a ferramenta MESMIS-Nexus. A Seção 3 apresenta os resultados. A seção 4 integra e discute as descobertas (Seção 4.1) bem como fornece os desafios e as oportunidades de melhorias (Seção 4.2). Por fim, a seção 5 apresenta a conclusão, contribuições e limitações desta pesquisa.

2 MÉTODO

O método de estudo de caso pode ser definido como um estudo de natureza empírica que visa estimular a compreensão, sugerir proposições e questões ou desenvolver a teoria

(CAUCHICK MIGUEL, 2007). A condução adequada de um estudo de caso demanda tempo, qualificação dos entrevistadores, cautela para alcançar conclusões generalizáveis de um conjunto selecionada de casos e estratégias para garantir rigor metodológico à pesquisa (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). Portanto, é importante que o estudo de caso destinado à pesquisa seja bem conduzido para obtenção de resultados relevantes e consistentes metodologicamente (YIN, 2018).

Para atingir os objetivos e permitir o levantamento de evidências com intuito de contribuir para o escopo da literatura de avaliação do WEF Nexus, este artigo adota o método de estudo de caso múltiplos e está baseado no trabalho de Eisenhardt (1989) e Yin (2018). Assim, as etapas adotadas foram descritas no Quadro 1.

Quadro 1 - Descrição das etapas do estudo de caso

ETAPAS	DESCRIÇÃO
ETAPA 1: Iniciando a pesquisa - definição de estrutura conceitual-teórica	Mapeamento da literatura sobre ferramentas de avaliação do WEF Nexus;
	Identificação de lacunas sobre o tema estudado;
	Delimitação do problema e objetivo de pesquisa;
	Seleção e adaptação de ferramenta sistêmica e participativa para avaliação do WEF Nexus: Proposta do MESMIS-Nexus.
ETAPA 2: Planejando os casos	Seleção das propriedades agrícolas e agricultores ligados à gestão;
	Definição do instrumento de coleta de dados. Seleção de documentos para análise;
	Elaboração do protocolo de pesquisa para replicação do estudo;
	Consulta do instrumento de coleta de dados com especialistas e verificação da qualidade do roteiro;
ETAPA 3: Indo à campo - coleta de dados	Aplicação prévia em estudo de caso piloto
	Aplicação do roteiro por meio de entrevistas com agricultores, bem como acesso aos documentos;
	Transcrição de entrevistas e registro de dados dos documentos selecionados.
ETAPA 4: Analisando dados	Análise de conteúdo dos dados coletados;
	Comparação dos resultados com a literatura existente e contribuições;
ETAPA 5: Gerando relatório final	Identificação das contribuições teóricas e práticas da pesquisa;
	Avaliação de critérios de confiabilidade e validade da qualidade da pesquisa.

Fonte: Adaptado de Eisenhardt (1989) e Yin (2018)

2.1 INICIANDO A PESQUISA: DEFINIÇÃO DE ESTRUTURA CONCEITUAL TEÓRICA

A primeira etapa, desenvolvimento de estrutura conceitual-teórica, foi realizada com base na revisão exploratória sobre o tema. Com o levantamento das lacunas identificadas em estudos anteriores e, principalmente, a partir de uma série de limitações e potencialidades das

ferramentas levantadas, foi possível delimitar o problema de pesquisa “Como avaliar as interações *water-energy-food* (WEF) Nexus no contexto da agricultura familiar, considerando a integração de abordagens sistêmica e participativa?”. O OI visou selecionar e adaptar uma ferramenta participativa para avaliação das interações sistêmicas do WEF Nexus com base na literatura: Portanto, a ferramenta proposta é chamada MESMIS-Nexus e resulta da adaptação do método MESMIS, amplamente divulgado para apoiar uma avaliação participativa de sustentabilidade no nível da fazenda (MASERA; ASTIER; LÓPEZ, 2000). A combinação entre o método MESMIS e a abordagem *WEF Nexus* busca realizar a avaliação das interações sistêmicas entre os setores *WEF* e outros elementos provenientes da literatura (*capital, labor, land e livelihoods*) a partir do processo participativo com agricultores familiares e gestores da fazenda. A seguir, o Quadro 2 descreve as etapas do MESMIS-Nexus, comparando-a com a descrição do MESMIS originário.

Quadro 2 - Descrição das etapas da ferramenta MESMIS-Nexus

Etapas do MESMIS	Descrição do MESMIS	Etapas da proposta do MESMIS-NEXUS	Descrição do MESMIS-Nexus
1: Determinação do objeto de estudo	Caracterização do sistema em análise, incluindo a definição do escopo espacial e temporal; a identificação das atividades de produção, componentes, entradas e saídas do sistema; bem como a identificação do contexto em termos de aspectos ambientais, sociais, econômicos e técnicos (MASERA; ASTIER; LÓPEZ, 2000).	Determinação do objeto de estudo	Esta etapa permanece igual à etapa 1 proposta por Masera; Astier; López (2000) no MESMIS.
2: Determinação dos pontos críticos do sistema	Levantamento dos processos que limitam ou fortalecem a sustentabilidade dos sistemas ao longo do tempo. Os pontos críticos são agrupados por diferentes atributos de sustentabilidade, que aparecem frequentemente nas análises de sistemas de manejo de recursos naturais (MASERA; ASTIER; LÓPEZ, 2000).	Determinação dos processos-chave do sistema	Levantamento dos aspectos relativos ao estado atual dos setores (água, energia e alimento, demais elementos) e desenvolvimento de uma estrutura geral de um sistema <i>WEF</i> .
3: Seleção de indicadores estratégicos	Seleção, utilização ou adaptação de indicadores conferidos aos atributos, áreas de avaliação e pontos críticos identificados. Masera; Astier; López (2000) disponibilizam um conjunto de critérios de diagnóstico e indicadores genéricos.	Mapeamento e caracterização do sistema	Desenho dos aspectos relativos ao fluxo de água, energia e alimento e levantamento pormenorizado sobre como os setores interagem, identificando os fluxos de entrada e saída desse setores (Proctor et al., 2021).

Etapas do MESMIS	Descrição do MESMIS	Etapas da proposta do MESMIS-NEXUS	Descrição do MESMIS-Nexus
4: Medição e monitoramento dos indicadores	Medição e monitoramento da lista final de indicadores ambientais, sociais e econômicos de acordo com as especificidades do sistema de manejo (parcela, unidade produtiva, comunidade etc.) e do problema estudado (MASERA; ASTIER; LÓPEZ, 2000).	Seleção de indicadores das interações WEF-C-L-LAN-LIV Nexus	Seleção dos indicadores de acordo com o contexto estudado. Uma proposta inicial de indicadores é disponibilizada pela ferramenta MESMIS-Nexus.
5: Apresentação e integração dos resultados	Resumo e integração dos resultados obtidos mediante o monitoramento dos indicadores (MASERA; ASTIER; LÓPEZ, 2000).	Percepção e monitoramento	Captura da percepção por parte dos <i>stakeholders</i> quanto aos indicadores <i>WEF</i> e monitoramento ao longo do tempo.
6: Conclusões e recomendações	Recapitulação dos resultados das análises para avaliar e comparar os distintos sistemas quanto a sua sustentabilidade. Criação de estratégias e recomendações que permitirão o início de um novo ciclo de avaliação (MASERA; ASTIER; LÓPEZ, 2000).	Integração dos resultados, apresentação, conclusões e recomendações	Esta etapa permanece igual às etapas 5 e 6 proposta por Masera; Astier; López (2000) no MESMIS.

A ferramenta MESMIS-Nexus integra etapas similares às etapas do MESMIS proposto por Masera; Astier; López (2000), tais como etapa 1, 5 e 6. No entanto, se diferencia e necessita de adaptação para evidenciar as interações WEF Nexus e os outros setores - *capital (Cap)*, *labor (Lab)*, *land (Lan)* e *livelihoods (Liv)*, enquanto o MESMIS se concentra nos atributos de sustentabilidade (ambiental, social e econômico). Essas diferenças se dão nas etapas 2, 3 e 4 em que a ferramenta proposta enfoca os fluxos de entrada e saída do WEF-C-L-Lan-Liv Nexus, fatores-chave e indicadores específicos, além da captura da percepção qualitativa, ao invés de medição estritamente quantitativa dos indicadores. A Figura 1 apresenta o ciclo de avaliação, integrando e comparando a ferramenta MESMIS-Nexus ao MESMIS.

Quanto aos indicadores para captura da percepção, o Quadro 3 apresenta a proposta inicial de indicadores vinculada à ferramenta MESMIS-Nexus. Esses indicadores foram construídos com base na utilização por estudos anteriores, discussão entre os autores deste trabalho e aplicação em estudo piloto. Para algumas interações não foi possível estabelecer indicador (N/D).

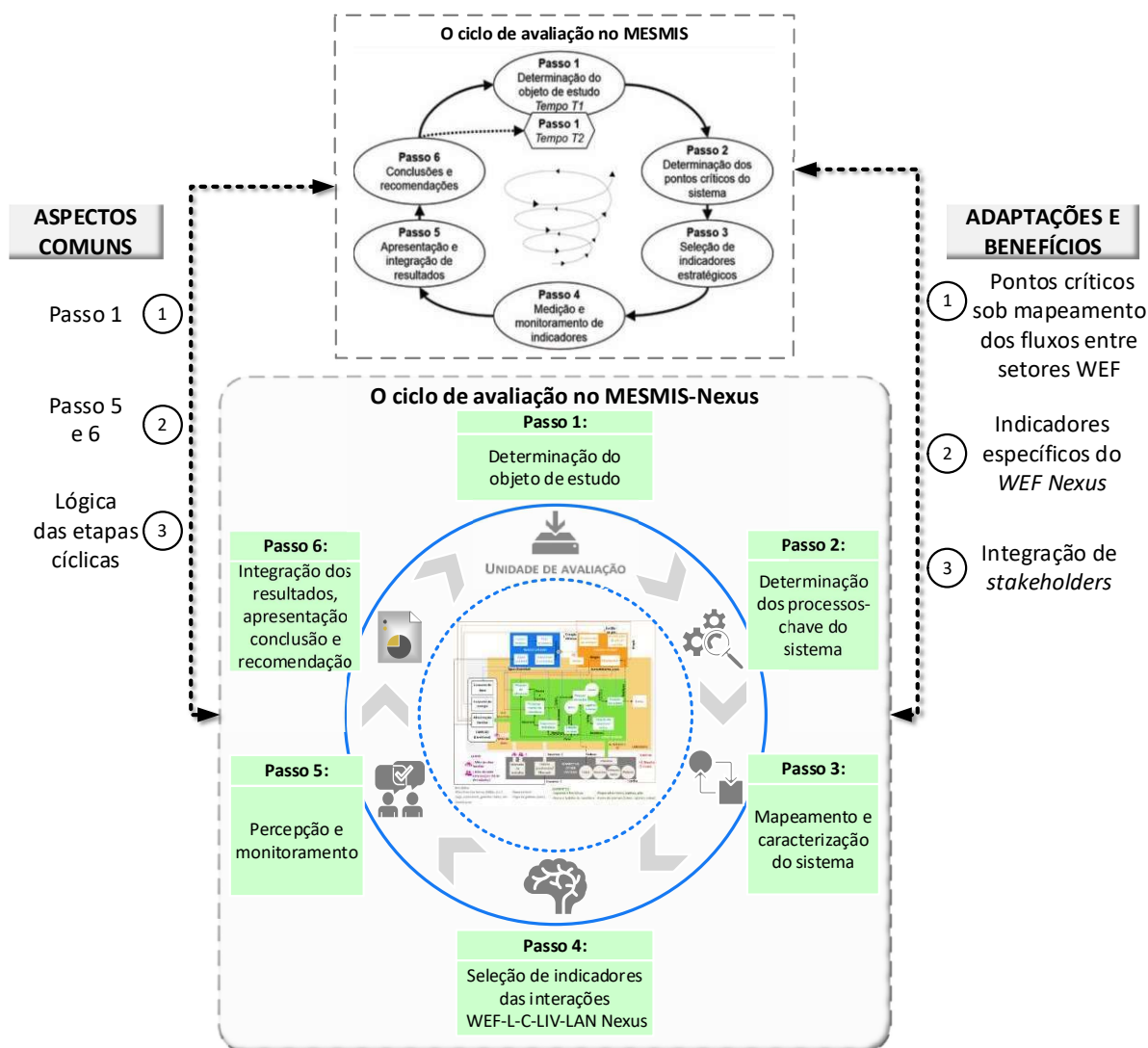
Quadro 3 - Proposta inicial de indicadores vinculada à ferramenta MESMIS-Nexus

Matriz de indicadores WEF	Água	Energia	Alimento	Capital	Labor	Land	Livelihoods
Água	IW1: Estrutura de armazenamento de água IW2: Estrutura captação água da chuva	N/D	IWF1: Disponibilidade de água para irrigação IWF2: Disponibilidade de água para o cultivo IWF3: Disponibilidade de água para criação animal IWF4: Disponibilidade de água para preparo de alimento	N/D	N/D	N/D	IWLiv: disponibilidade de água para consumo familiar
Energia	IEW: Disponibilidade de energia para obtenção de água	N/D	IEF: Disponibilidade de energia elétrica para agricultura	IECap: Utiliza lenha para vender e gerar renda extra	N/D	N/D	IELiv1: Disponibilidade de energia elétrica para consumo familiar IELiv2: Disponibilidade de lenha para consumo familiar IELiv3: Disponibilidade de biogás para consumo familiar IELiv4: Disponibilidade de gás de cozinha para consumo familiar
Alimento	N/D	IFE: Realiza aproveitamento de resíduos da agricultura para	IFT1: Utiliza insumos internos para produção de alimentos? IFT2: Nível de	IFCap1: Nível de produtividade (quantidade produzida em relação à área plantada)	N/D	IFLan: Realiza aproveitamento de resíduos da agricultura para manejo do solo	IFLiv: Disponibilidade de alimentos para consumo familiar

Matriz de indicadores WEF	Água	Energia	Alimento	Capital	Labor	Land	Livelihoods
		geração de energia?	diversidade de espécies da agricultura (feijão, arroz, milho, bovino, suíno, caprino, aves...)	IFCap2: Contabiliza e controla custos (fixo e variável) da produção? IFCap3: Lucratividade dos principais cultivos IFCap4: Nível de endividamento IFCap5: Gerencia o preço de venda dos produtos			
Capital	ICapW: Possui custo com água potável	ICapE1: Custo mensal com consumo de energia elétrica ICapE2: Custo mensal com consumo de gás de cozinha ICapE3: Custo mensal com consumo de outras fontes (álcool, diesel, gasolina)	ICapF: Custo mensal com insumos externos para agricultura	N/D	ICapLab: Custo mensal com mão-de-obra	ICapLan: Custo mensal com manejo do solo disponibilidade de recursos financeiros para investimento	ICapLiv: Disponibilidade de recurso financeiro para compras para a família
Labor	ILabW: Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de água	ILabE: Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de energia?	ILabF: Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de alimento?	ILabCap: Fornecer mão-de-obra fora da propriedade?	ILab1: Apoio obtido por fazer parte de uma associação cooperativa ILab2: Acesso a cursos profissionalizantes e suporte técnico	ILabLan: Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de terra?	N/D
Land	N/D	N/D	ILanF: Rendimento de culturas básicas	ILanCap: Realiza arrendamentos/consórcios com outros agricultores	N/D	ILan: Realiza ações de conservação da terra	ILanLiv: Disponibilidade de terra para garantir a autosuficiência familiar

Matriz de indicadores WEF	Água	Energia	Alimento	Capital	Labor	Land	Livelihoods
Livelihoods	N/D	N/D	N/D	N/D	ILivLab :Disponibilidade de mão de obra familiar para as atividades da propriedade	ILivLan :Destino da maior parte resíduo doméstico	ILiv :Envolvimento de mulheres nas decisões

Figura 1 - Ciclo de avaliação do MESMIS e MESMIS-Nexus



Adaptado de Masera; Astier; López (2000)

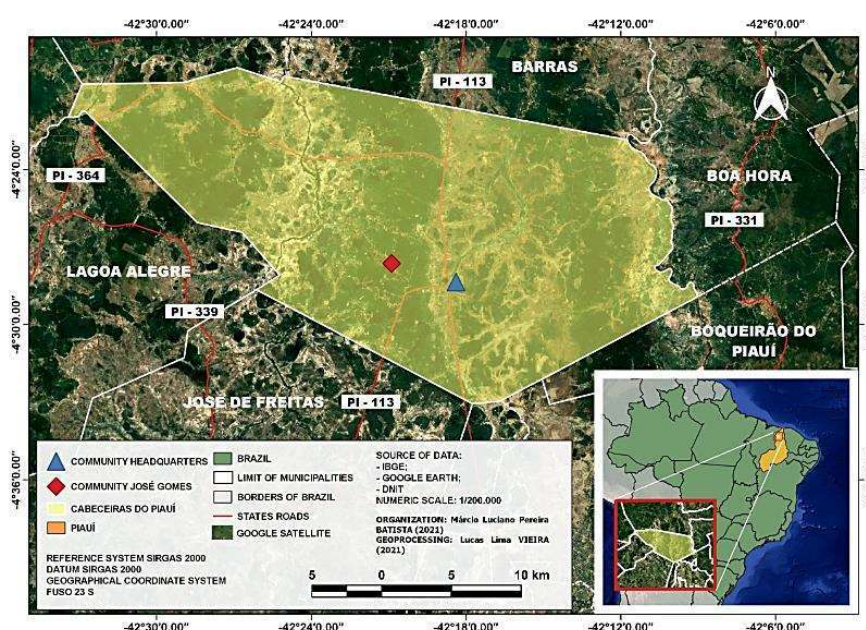
2.2 PLANEJAMENTO DOS CASOS

O critério de seleção das propriedades para este estudo era que elas fossem fazendas adotando ações de trabalho sob a perspectiva da agricultura familiar. De acordo com a Lei Nº 11.326/2006 (BRASIL, 2006), em seu artigo 3º, agricultor e/ou empreendedor familiar rural é todo aquele que desempenha atividades na área rural, atendendo aos seguintes critérios simultaneamente: a) a propriedade rural tem área equivalente até quatro módulos fiscais b) utiliza preminentemente mão de obra familiar; c) a renda familiar decorre predominantemente do estabelecimento ou empreendimento rural; e d) a direção do estabelecimento ou empreendimento é familiar. Com base nesses critérios, selecionamos para o estudo de caso piloto, uma propriedade familiar que faz parte da Associação de Agricultores e Agricultoras

Agroecológicos da Várzea Paraibana – ECOVÁRZEA, formada por pequenos agricultores familiares localizados na zona da Várzea Paraibana pertencente a Zona da Mata Norte e Sul do Estado da Paraíba (região nordeste do Brasil).

Posteriormente, com base nos mesmos critérios de seleção, sete propriedades familiares rurais, com múltiplos estudos de caso, foram selecionadas para esta pesquisa, a fim de obter um maior grau de certeza e consistência sobre os resultados alcançados (YIN, 2018). Essas propriedades estão localizadas na comunidade rural José Gomes (Figura 2) situada no estado do Piauí, localizado na região nordeste do Brasil.

Fig 2 – Localização geográfica da comunidade rural José Gomes, Cabeceiras, Piauí



Fonte: IBGE (2020), adaptado de Vieira (2021) e Batista et al. (2021).

Antes da coleta de dados, foi desenvolvido um protocolo de pesquisa descrito no APÊNDICE A para orientar os pesquisadores na coleta de dados e para que os potenciais entrevistados possam compreender a pesquisa. O Quadro 4 contém um resumo das principais informações: objetivo da pesquisa, suporte teórico, unidade de análise, entrevistados, período da pesquisa e características do roteiro de entrevista. O principal instrumento adotado para coleta de dados foi a entrevista semiestruturada, sendo complementada com observações *in loco* e análise de documentos da propriedade.

Quadro 4 - Resumo do protocolo do estudo de caso

Conteúdos	Descrição
Objetivo da pesquisa	O1) Propor a ferramenta MESMIS-NEXUS, adaptando o método participativo MESMIS para avaliar as interações sistêmicas do WEF Nexus em propriedades agrícolas; (O2): Aplicar a ferramenta proposta em propriedades de agricultura familiar por meio de estudos de caso; (O3): Identificar desafios e oportunidades de melhoria para as propriedades de agricultura familiar com aplicação da ferramenta MESMIS-NEXUS.
Suporte teórico	Abordagem WEF Nexus Avaliação sistêmica e participativa do WEF Nexus (WEF Nexus+Mesmis) na agricultura;
Unidade de análise	Uma propriedade de agricultura familiar localizada na Paraíba e sete propriedades localizadas no Piauí;
Entrevistados	Agricultores familiares à frente da gestão das propriedades;
Período da coleta de dados	Junho/2022 a Agosto/2022;
Roteiro de entrevistas (dividido em 4 seções) (APÊNDICE B)	1. Descrição da propriedade e do entrevistado; 2. Mapeamento de inputs e outputs e processos-chave dos subsistemas WEF-C-L-Lan-Liv Nexus da propriedade; 3. Indicadores WEF-C-L-Lan-Liv Nexus e percepção das interações para o agricultor (a); 4. Apresentação dos resultados aos entrevistados e validação;

O roteiro de entrevista (APÊNDICE B) foi dividido em quatro seções: 1. Descrição da propriedade e do entrevistado; 2. Mapeamento de inputs e outputs e processos-chave dos subsistemas WEF-C-L-Lan-Liv Nexus da propriedade; 3. Indicadores WEF-C-L-Lan-Liv Nexus e percepção da interação para o agricultor (a); 4. Apresentação dos resultados aos entrevistados e validação;

2.3 INDO À CAMPO: COLETA DE DADOS

A coleta de dados foi realizada por meio de entrevistas semiestruturadas. Também foi realizada observação não participante nas propriedades. O critério de seleção para os entrevistados foi: ser agricultor familiar e ligado diretamente à gestão da propriedade. Nessa etapa ocorreu a participação dos agricultores, através de reuniões para aplicação do roteiro de entrevistas e observação não participante de aspectos relacionados ao acesso à água, energia e segurança alimentar, cumprindo com o caráter participativo que a ferramenta pressupõe.

As questões do roteiro de entrevista foram refinadas com pesquisadores autores da ferramenta proposta. Em seguida esse roteiro foi aplicado por meio de entrevista com um agricultor familiar, gestor de uma propriedade de agricultura familiar, beneficiada com um biodigestor (tecnologia social). Este teste piloto deu suporte para adequação das perguntas, termos/linguagem utilizados, esclareceu melhor a sequência das perguntas e etapas da

ferramenta proposta para melhorar o instrumento de coleta e torná-lo mais acessível aos respondentes. Os resultados para o teste piloto são apresentados no Apêndice C.

2.4 ANALISANDO DADOS

A análise de dados foi realizada com base nas entrevistas gravadas e transcritas com a autorização dos entrevistados, resultando em x páginas de transcrição. Além disso, os documentos disponibilizados para análise do contexto foram também avaliados a fim de comparação. A análise das evidências empíricas ocorreu por meio da técnica de análise de conteúdo. Essa técnica consiste em um método de pesquisa sistemático e objetivo para fazer inferências replicáveis e válidas de dados em seu contexto com o propósito de construir um modelo, sistema conceitual, mapa conceitual ou categorias que descrevem um fenômeno amplo (ELO; KYNGÄS, 2008).

No que concerne aos dados obtidos nas entrevistas, essencialmente quantitativos, ficou convencionado que as quantificações seriam classificadas seguindo uma escala de notas de desempenho de 1 a 4, em que 1 designa uma circunstância não desejada ou ruim; 2 e 3 a um contexto intermediário e 4, um cenário desejado. Os indicadores WEF foram alcançados através da média aritmética para cada interação, e posteriormente Índice Nexus Agregado a média geral para cada subsistema. O Quadro 5 apresenta um exemplo da escala de notas de desempenho e cor associada.

Quadro 5 – Exemplo de escala de notas de desempenho atribuídas

Indicador da interação	Escala				Valor	Cor
	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado		
Disponibilidade de energia para obtenção de água	X				1	
Disponibilidade de energia elétrica (qtd e qualidade) para consumo familiar		X			2	
Disponibilidade de recursos financeiros para investimento			X		3	
Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de alimento				X	4	

2.5 GERAÇÃO DO RELATÓRIO FINAL

Nesta etapa é gerado o relatório da pesquisa, no qual os fatores de análise são avaliados e embasados teoricamente através da literatura. Nesta etapa, os resultados da avaliação foram

apresentados e validados junto com os agricultores entrevistados na etapa de coleta de dados. Os estudos de caso devem seguir critérios de validade e confiabilidade para o alcance de qualidade, rigor e relevância da pesquisa (YIN, 2018). Nesse sentido, os critérios utilizados nesta pesquisa são:

Validade interna: A aplicação da ferramenta é pautada por uma revisão da literatura e entrevistas com agricultores diretamente responsáveis pela gestão das propriedades. Detalhamento dos procedimentos metodológicos para coleta de dados.

Validade externa: Estudo de caso múltiplos. Análise de contexto e resultados empíricos dos casos. A aplicação da ferramenta de avaliação MESMIS-NEXUS. Apresentação dos critérios de seleção dos casos. Possibilidade de replicação da pesquisa, utilizando a ferramenta em outras propriedades agrícola e outros contextos geográficos.

Confiabilidade: Desenvolvimento do protocolo da pesquisa (APÊNDICE A) e criação de banco de dados das entrevistas gravadas e materiais complementares (bloco de notas e registros fotográficos). Desenvolvimento de roteiro de entrevistas (APÊNDICE B). Transcrição das entrevistas gravadas. Análise de conteúdo das entrevistas.

3 RESULTADOS

Esta seção descreve como se deu a aplicação do MESMIS-Nexus em cada etapa da ferramenta, atendendo ao segundo objetivo específico (O2) desta pesquisa, de aplicar a ferramenta proposta em propriedades de agricultura familiar por meio de estudos de caso.

3.1 PASSO 1 – DETERMINAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Neste primeiro passo da operacionalização da ferramenta MESMIS-Nexus é necessário delimitar o sistema avaliado. Para isso, o Quadro 6 apresenta os determinantes necessários para caracterizar um sistema conforme indicado por Masera; Astier; López (2000), adaptados para contexto do estudo. O contexto que propiciou a aplicação da ferramenta é constituído de sete propriedades situadas na comunidade rural José Gomes, localizada na Mesorregião do Norte do Estado do Piauí, Brasil, especificamente, na Cidade de Cabeceiras do Piauí.

Quadro 6 - Principais determinantes para caracterizar os agroecossistemas – sete propriedades familiares rurais localizadas no Piauí, Brasil.

DETERMINANTES DA UNIDADE DE ANÁLISE		PROPRIEDADE						
		A	B	C	D	E	F	G
BIOFÍSICO		Clima: Tropical Subúmido Seco. Cood, geográficas: 4°27'34,7" Sul e 42°20'58" Oeste. Temp (max. e min.): 22°C e 35°C. Precip. 1.535 mm. Veget. Mosaico de tipos vegetacionais, caatinga e cerrado. Solo: plintossolos álicos.						
TECNOLOGICOS E DE MANEJO	Principais espécies cultivadas	Caju, arroz, milho, mandioca e feijão	Coentro, pimenta e cebolinha	Coco babaçu	Idem C	Arroz, milho, mandioca e feijão	Idem A	Macaxeira, feijão, melancia e caju
	Sistema de Produção	Policultivo e cultivo anual em rotação de cultura	Rotação de cultura	Integração	Idem C	Idem A	Idem A	Policultivo
	Tecnologia empregada	Manual						
	Mão-de-obra empregada	Predominantemente familiar						
	Manejo do solo	Fertilização	Resíduos orgânicos e adubo químico	Resíduos orgânicos e esterco extra	Idem B	Resíduos orgânicos	Idem A	Idem A
		Prática de conservação	Rotação e plantio de cobertura	Idem A e biofertilizante	Biofertilizante e compostagem	Idem D	Idem A	Idem A
		Manejo de praga/Doença	Herbicida e capina com enxada	Capina com enxada e facão	Idem B	Idem B	Idem B	Idem A
	Espécies da pecuária	Bovino, ovino e ave	Não possui criação de animais	Suíno e ave	Idem C	Bovino, caprino	Idem C	Suíno
Socio, econ. e culturais	Características dos produtores	Pequena produção familiar, entre um e dois módulos fiscais (120 ha -PI).						
	Objetivo da produção	Produção para subsistência e segurança familiar bem como geração de renda.						
	Características da organização para produção	Não pertence à associação/coop.	Idem A	Faz parte de cooperativa	Idem A	Idem C	Idem A	Idem A

Adaptado de Masera; Astier; López (2000)

3.2 PASSO 2 – DETERMINAÇÃO DOS PROCESSOS-CHAVE DO SISTEMA

Em muitos casos, as unidades produtivas incluem vários componentes ou subsistemas que se relacionam através de trocas internas e externas (MASERA; ASTIER; LÓPEZ, 2000). Neste

segundo passo de aplicação, os processos-chave devem ser caracterizados. Por existir uma similaridade entre as características biofísicas, técnicas e socioambientais das sete propriedades, os seguintes processos-chave para as sete propriedades são identificados e agrupados:

-Subsistema de água: Os processos-chave para este subsistema são obtenção, captação e armazenamento de água para uso doméstico e atividades produtivas. Os agricultores das propriedades estudadas possuem duas principais fontes de obtenção de água, são elas: lençol freático e água da chuva. Em todas as propriedades, o acesso à água é viabilizado através de consumo de energia e bomba para bombeamento da água. Os agricultores afirmam utilizar poço artesiano particular, poço tubular comunitário, caixa d'água e cisterna para captação e armazenamento de água. Em 5 das 7 propriedades estudadas, não há mecanismos de irrigação nas lavouras, este está presente em apenas 2 propriedades.

-Subsistema de energia: Os processos-chave para este componente são obtenção e geração de energia. Existem três principais fontes de obtenção e geração de energia utilizadas, são elas: distribuidora de energia, lenha e gás de cozinha. Os agricultores afirmam não possuir alguma tecnologia social de apoio à geração de energia.

-Subsistema de alimentos: Os processos-chave para este subsistema são inerentes à atividade agrícola desenvolvida. Dentre os principais processos-chave existem: cultivo de hortaliças, lavoura de arroz, feijão, milho e macaxeira, produção de derivados do coco babaçu, produção de derivados do caju, produção de frutas, criação de aves, bovino, caprino, ovino e suínos e preparo de alimentos como bolos e doces.

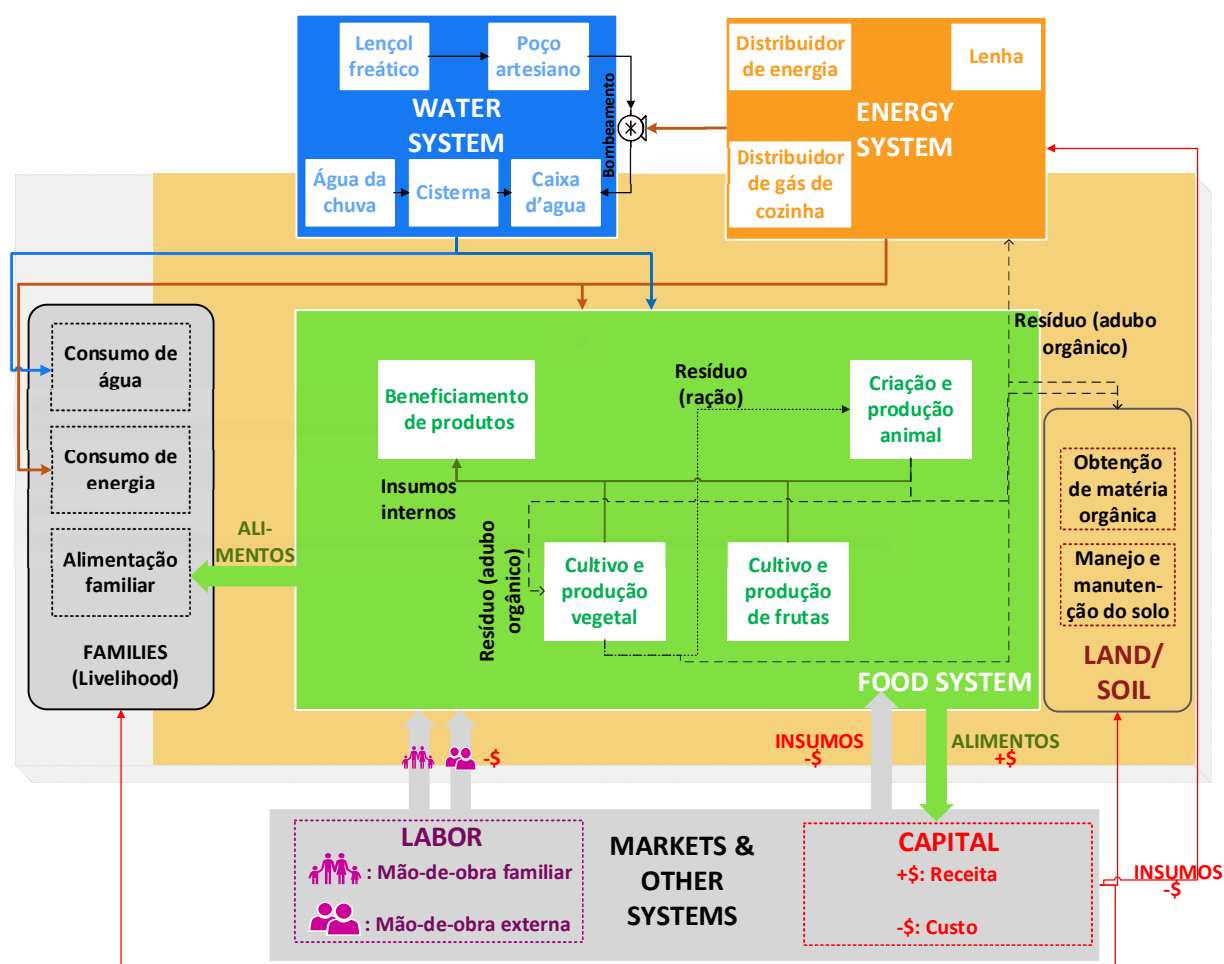
-Mercado e outros sistemas: Os processos-chave para este sistema se relacionam aos aspectos de capital, mão-de-obra e subsistência das famílias. Quanto ao capital, os processos-chave são gerir os custos e ganhos associados aos demais sistemas. Em relação à mão-de-obra, a contratação é um processo-chave. No que se refere à subsistência das famílias, os processos-chave são relacionados ao consumo de água, de energia e de alimentos.

-Subsistema de terra/solo: Os processos-chave para este componente são destinação dos resíduos das atividades produtivas, obtenção de matéria orgânica, manejo e manutenção do solo. Todos os agricultores entrevistados afirmam reaproveitar resíduos oriundos das atividades produtivas de plantio e criação de animais, reaproveitando tais resíduos como adubo orgânico ou matéria-prima para ração animal.

3.3 PASSO 3 – MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

Após a identificação dos fatores determinantes do objeto de estudo (no Passo 1) e dos processos-chave do sistema (no Passo 2), outro aspecto fundamental deve ser considerar a natureza dinâmica de um sistema (MASERA; ASTIER; LÓPEZ, 2000). O Passo 3 é destinado a conceber o sistema através da utilização de diagramas que mapeiam suas entradas e saídas e a relação entre seus diferentes subsistemas. Este passo explicita as interações WEF Nexus com os outros componentes do sistema (capital, mão-de-obra, subsistência e terra/solo). A Figura 3 ilustra a estrutura geral comum às sete propriedades rurais familiares (a ilustração individual para cada uma pode ser acessada no apêndice C).

Figura 3 - Sistema de agricultura familiar representativo para sete propriedades, Piauí, Brasil



As interconexões entre os setores do WEF Nexus são evidenciadas no mapeamento de entradas e saídas. Nas propriedades estudadas, a obtenção de água necessita de energia para funcionar a bomba de abastecimento de água. A água e energia estão interligados com a produção de alimentos em relação ao uso de água para irrigar os cultivos, criar animais e beneficiar os

produtos (doce de caju, cajuína, azeite de coco, bolos, etc), já a energia para fornecer energia elétrica, gás, lenha e carvão para cozinhar e funcionar alguns equipamentos (forrageira e fornos) na agricultura e preparo de alimentos. A produção de alimentos está interligada com o uso e manutenção do solo, emprego de mão-de-obra, fornecimento de meios de subsistência para as famílias, além da oportunidade de utilizar resíduos das atividades produtivas para geração de energia. Capital está interligado com todos os outros setores através dos recursos e trocas financeiras geradas, como receitas com a comercialização de produtos e custos de produção e consumos familiar.

3.4 PASSO 4 – SELEÇÃO DE INDICADORES DAS INTERAÇÕES WEF-L-C-LIV-LAN NEXUS

De posse dos processos-chave, caracterização do sistema e mapeamento dos respectivos *inputs* e *outputs* de cada subsistema, o próximo passo para avaliar as interações WEF Nexus consiste na escolha dos indicadores das interações WEF-L-C-Liv-Lan Nexus (Passo 4). Utiliza-se um conjunto de indicadores específicos, previamente propostos pela ferramenta MESMIS-Nexus, contemplando a relação entre cada subsistema com os demais analisados. Os Quadros a seguir apresentam tais indicadores elencados para o conjunto de interações mapeadas.

Durante a aplicação, o conjunto de indicadores pode ser adaptado pela equipe de avaliação de acordo com a caracterização e mapeamento do contexto de aplicação, literatura especializada e validado pelos agricultores à frente da gestão da propriedade rural. Portanto, o detalhamento das etapas anteriores é relevante para assegurar a flexibilidade da ferramenta ao medir a percepção e monitorar as interações entre os setores WEF com indicadores apropriados para o contexto na prática. A flexibilidade da ferramenta permite lidar com a indisponibilidade de indicadores entre eventuais interações a depender da especificidade do contexto avaliado.

-Subsistema de água

Os indicadores desse subsistema capturam as interações do subsistema de água com os subsistemas de alimento e *livelihoods* (subsistência). Os processos-chave para esse subsistema se referem ao armazenamento, captação e disponibilidade de água para proporcionar as atividades produtivas e familiares. Esses processos-chave conduzem ao uso de indicadores que possibilitem analisar o armazenamento e disponibilidade de recursos hídricos para realizar a irrigação, as atividades produtivas e atendimento ao próprio consumo familiar. Essa relação de processos-chave e definição dos indicadores do subsistema de Água (Quadro 7) compõem o Indicador Nexus Agregado de Água médio (INAWmed) calculado através da média aritmética.

Quadro 7 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Água

	Interação		Indicadores	Código	Escala			
					1	2	3	4
Indicador Nexus Agregado de Água médio (INAWmed)	Água	Água	Estrutura de armazenamento de água	IW1	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
	Água	Água	Estrutura captação água da chuva	IW2	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
	Água	Alimento	Disponibilidade de água para irrigação	IWF1	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
	Água	Alimento	Disponibilidade de água para o cultivo	IWF2	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
	Água	Alimento	Disponibilidade de água para criação animal	IWF3	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
	Água	Alimento	Disponibilidade de água para preparo de alimento (goma, doce, bolo...)	IWF4	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
	Água	<i>Livelihoods</i>	Disponibilidade de água para consumo familiar	IWLiv	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado

-Subsistema de Energia

Os indicadores desse subsistema capturam as interações do subsistema de energia com os subsistemas de água, alimento, capital e *livelihoods* (subsistência). Os processos-chave para esse subsistema se referem à disponibilidade de energia para proporcionar o acesso à água, as atividades produtivas e familiares. Esses processos-chave conduzem ao uso de indicadores que possibilitem analisar a disponibilidade de recursos energéticos para obter recursos hídricos, uso na agricultura, renda extra com a venda de estacas e atendimento ao próprio consumo familiar (com utilização de energia elétrica, lenha e gás de cozinha). Essa relação de processos-chave e definição dos indicadores do subsistema de Energia (Quadro 8) compõem o Indicador Nexus Agregado de Energia médio (INAEmed) calculado através da média aritmética.

Quadro 8 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Energia

			Interação	Indicadores	Código	Escala			
						1	2	3	4
Indicador Nexus Agregado de Energia médio (INAEmed)	Ener-gia	Água		Disponibilidade de energia para obtenção de água	IEW	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
	Ener-gia	Ali-mento		Disponibilidade de energia elétrica para agricultura	IEF	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
	Ener-gia	Capi-tal		Utiliza lenha para vender e gerar renda extra	IECap	nunca	raramente	às vezes	sempre
	Ener-gia	<i>Liveli-hoods</i>		Disponibilidade de Energia elétrica para consumo familiar	IELiv1	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
	Ener-gia	<i>Liveli-hoods</i>		Disponibilidade de lenha para consumo familiar	IELiv2	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
	Ener-gia	<i>Liveli-hoods</i>		Disponibilidade de gás de cozinha para consumo familiar	IELiv3	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado

-Subsistema de Alimentos

Os indicadores desse subsistema capturam as interações do subsistema de alimentos com os subsistemas de energia, capital, *land* (terra/solo) e *livelihoods* (subsistência). Os processos-chave para esse subsistema se referem à disponibilidade de alimentos para beneficiar as atividades produtivas e o consumo familiar. Esses processos-chave conduzem ao uso de indicadores que possibilitem analisar o aproveitamento de resíduos da agricultura para geração de energia e manejo do solo, de insumos interno para produzir alimentos, o nível de diversidade do cultivo e da criação de animais. Além disso, aspectos como produtividade, lucratividade, custos e preço de venda, endividamento, além da disponibilidade de alimentos para subsistência também são considerados. A relação de processos-chave e definição dos indicadores do subsistema de Alimento compõem o Indicador Nexus Agregado de Alimento (Quadro 9) médio (INAFmed) calculado através da média aritmética..

Quadro 9 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Alimento

Interação		Indicadores	Código	Escala				
				1	2	3	4	
Indicador Nexus Agregado de Alimento médio (INAFmed)	Alimento	Energia	Aproveitamento de resíduos da agricultura para geração de energia?	IFE	nunca	raramente	às vezes	sempre
	Alimento	Alimento	Insumos internos para produção de alimentos?	IF1	nunca	raramente	às vezes	sempre
	Alimento	Alimento	Nível de diversidade de espécies da agricultura	IF2	sem diversidade	baixo	intermediário	alto
	Alimento	Capital	Nível de produtividade	IFCap1	sem produtividade	baixo	intermediário	alto
	Alimento	Capital	Contabiliza e controla custos da produção	IFCap2	nunca	raramente	às vezes	sempre
	Alimento	Capital	Lucratividade dos principais cultivos	IFCap3	sem lucratividade	abaixo da média comercial	aceitável/igual à média comercial	melhor que a média comercial
	Alimento	Capital	Nível de endividamento	IFCap4	alto	médio	baixo	sem dívidas
	Alimento	Capital	Gerencia o preço de venda dos produtos	IFCap5	nunca	raramente	às vezes	sempre
	Alimento	Land	Aproveitamento de resíduos da agricultura para manejo do solo	IFLan	nunca	raramente	às vezes	sempre
	Alimento	Livelihoods	Disponibilidade de alimentos para consumo familiar	IFLiv	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado

-Subsistema de Capital

Os indicadores desse subsistema capturam as interações do subsistema de capital com os subsistemas de água, energia, alimento, *labor* (mão-de-obra), *land* (terra/solo) e *livelihoods* (subsistência). Os processos-chave para esse subsistema se referem às atividades que geram custos na propriedade rural e à disponibilidade de recursos financeiros para investimento e subsistência da família (consumo familiar). Esses processos-chave conduzem ao uso de indicadores que possibilitem analisar a frequência de custos com água potável, energia elétrica e outras fontes, insumos externos, mão-de-obra e manejo do solo implementados nas atividades agrícolas e recursos financeiros para investimento no empreendimento agrícola bem como para

suprir o consumo familiar. A relação de processos-chave e definição dos indicadores do subsistema de Capital (Quadro 10) compõem o Indicador Nexus Agregado de Capital médio (INACapmed) calculado através da média aritmética.

Quadro 10 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Capital

	Interação		Indicadores	Código	Escala			
					1	2	3	4
Indicador Nexus Agregado de Capital médio (INACapmed)	Capital	Água	Custo mensal com água potável	ICapW	sempre	às vezes	raramente	nunca
	Capital	Ener-gia	Custo mensal com consumo de energia elétrica	ICapE1	sempre	às vezes	raramente	nunca
	Capital	Ener-gia	Custo mensal com consumo de gás de cozinha	ICapE2	sempre	às vezes	raramente	nunca
	Capital	Ener-gia	Custo mensal com consumo de outras fontes (álcool, diesel, gasolina)	ICapE3	sempre	às vezes	raramente	nunca
	Capital	Ali-mento	Custo mensal com insumos externos para agricultura	ICapF	sempre	às vezes	raramente	nunca
	Capital	Labor	Custo mensal com mão-de-obra	ICapLab	sempre	às vezes	raramente	nunca
	Capital	Land	Custo mensal com manejo do solo	ICapLan1	sempre	às vezes	raramente	nunca
	Capital	Land	Disponibilidade de recursos financeiros para investimento	ICapLan2	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
	Capital	Liveli-hoods	Disponibilidade de recurso financeiro para compras para a família	ICapLiv	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado

- Subsistema de labor

Os indicadores desse subsistema capturam as interações do subsistema de *labor* (mão-de-obra) com os subsistemas de água, energia, alimento, capital e *land*. Os processos-chave para esse subsistema se referem à disponibilidade de mão-de-obra para utilizar no acesso à água, à energia, na produção de alimentos e na disponibilidade de terra para cultivo. Também aspectos relacionados à apoio advindo de associação cooperativa e acesso à suporte e cursos técnicos são analisados. Esses processos-chave conduzem ao uso de indicadores que possibilitem analisar a percepção dos agricultores sobre esses aspectos. A relação de processos-chave e

definição dos indicadores do subsistema de Labor (Quadro 11) compõem o Indicador Nexus Agregado de Labor médio (INALabmed) calculado através da média aritmética.

Quadro 11 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Labor

			Interação	Indicadores	Código	Escala			
						1	2	3	4
Indicador Nexus Agregado de Labor médio (INALabmed)	Labor	Água		Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de água	ILabW	sempre	às vezes	raramente	nunca
	Labor	Energia		Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de energia	ILabE	sempre	às vezes	raramente	nunca
	Labor	Alimento		Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de alimento	ILabF	sempre	às vezes	raramente	nunca
	Labor	Capital		Fornece mão-de-obra fora da propriedade	ILabCap	sempre	às vezes	raramente	nunca
	Labor	Labor		Apoio obtido por fazer parte de uma associação cooperativa	ILab1	não faz parte	inadequado	poderia ser melhor	adequado
	Labor	Labor		Acesso à cursos profissionalizantes e suporte técnico	ILab2	nunca	raramente	às vezes	sempre
	Labor	Land		Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de terra	ILabLan	sempre	às vezes	raramente	nunca

- Subsistema de Land

Os indicadores desse subsistema capturam as interações do subsistema de *land* (terra/solo) com os subsistemas de alimento, capital e *livelihoods* (subsistência). Os processos-chave para esse subsistema se referem ao uso da terra para as atividades produtivas, conservação e autossuficiência familiar. Esses processos-chave conduzem ao uso de indicadores que possibilitem analisar o rendimento das culturas, estabelecimento de arrendamentos/consórcios com outros agricultores, realização de ações de conservação da terra e disponibilidade de terra para garantir a autossuficiência familiar. A relação de processos-chave e definição dos

indicadores do subsistema de Land (Quadro 12) compõem o Indicador Nexus Agregado de Land médio (INALanmed)

Quadro 12 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Land

	Interação		Indicadores	Código	Escala			
					1	2	3	4
Indicador Nexus Agregado de Land médio (INALanmed)	Land	Alimento	Rendimento de culturas básicas	ILanF	Sem rendimento	Insuficiente	regular	suficiente
	Land	Capital	Arrendamentos/consórcios com outros agricultores	ILanCap	sempre	às vezes	raramente	nunca
	Land	Land	Realiza ações de conservação da terra	ILan	nunca	raramente	às vezes	sempre
	Land	Livelihoods	Disponibilidade de terra para garantir a autosuficiência familiar	ILanLiv	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado

- Subsistema de *Livelihoods*

Os indicadores desse subsistema capturam as interações do subsistema de *livelihoods* com os subsistemas de labor (mão-de-obra), *land* (terra/solo) e *livelihoods* (subsistência). Os processos-chave para esse subsistema se referem ao emprego de mão-de-obra familiar para executar as atividades da propriedade rural, à destinação do resíduo doméstico e ao envolvimento das mulheres nas decisões. Esses processos-chave conduzem ao uso de indicadores que possibilitem analisar tais aspectos. A relação de processos-chave e definição dos indicadores do subsistema de *Livelihoods* (Quadro 13) compõem o Indicador Nexus Agregado de Livelihoods médio (INALivmed)

Quadro 13 - Indicadores e parâmetros de avaliação do subsistema de Livelihoods

	Interação		Indicadores	Código	Escala			
					1	2	3	4
Indicador Nexus Agregado de Livelihoods médio (INALivmed)	Livelihoods	Labor	Disponibilidade e de mão de obra familiar para as atividades da propriedade	ILivLab	Inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
	Livelihoods	Land	Destino da maior parte do resíduo doméstico	ILivLan	queima	enterra	coleta	compostagem/reciclagem
	Livelihoods	Livelihoods	Envolvimento de mulheres nas decisões	ILiv	nunca	raramente	às vezes	sempre

3.5 PASSO 5 – PERCEPÇÃO E MONITORAMENTO

No quinto passo, o pesquisador captura a percepção dos *agricultores à frente da propriedade* quanto aos indicadores *WEF*. Este passo é dedicado ao monitoramento dos indicadores ao longo do tempo.

Quanto à percepção das interações WEF Nexus, a propriedade A apresenta desempenho pior para alguns indicadores, destacados em tom avermelhado. Os índices estão relacionados a Energia (1,67) e Capital (1,83). Para o agricultor à frente da propriedade, as fontes de energia disponíveis apresentam custo elevado, sobretudo o gás de cozinha, e oscilações na disponibilidade, principalmente na energia elétrica. A Figura 4 apresenta os valores e as médias obtidas por cada indicador para a propriedade A.

Figura 4 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade A



Caso A	W	E	F	Cap	L	Lan	Liv	INA
w	IWmed=3,5	N/D	IWFmed=4	N/D	N/D	N/D	IWLiv=4	INAW=3,83
E	IEW=2	N/D	IEF=2	IECap=1	N/D	N/D	IELivmed=1,66	INAE=1,67
F	N/D	IFE=1	IFmed=3,5	IFCapmed=2	N/D	IFLan=4	IFLiv=4	INAF=2,90
Cap	ICapW=1	ICapEmed=1	ICapF=2	N/D	ICapLab=2	ICapLanmed=2	ICapLiv=3	INACap=1,83
Lab	ILabW=4	ILabE=2	ILabF=2	ILabCap=3	ILabmed=2,5	ILabLan=1	N/D	INALab=2,42
Lan	N/D	N/D	ILanF=3	ILanCap=4	N/D	ILan=3	ILanLiv=4	INALan=3,5
Liv	N/D	N/D	N/D	N/D	ILivLab=4	ILivLan=1	ILiv=3	INALiv=2,67

O agricultor afirma “as despesas com a conta de luz e gás de cozinha são altas, sempre precisamos usar o carvão já que é mais barato comparando com o gás de cozinha. Quando tem falta de energia (elétrica), mesmo não sendo frequentes, o reestabelecimento geralmente demora e afeta diretamente a disponibilidade de água para uso, pois a bomba só funciona com energia elétrica”. Quanto ao capital, “os custos para ter água potável, energia, insumos externos para agricultura, mão-de-obra e manejo do solo ocorrem sempre ou às vezes”. Portanto, a disponibilidade de recursos financeiros para investimento é um indicador que na percepção do agricultor precisa de grandes melhorias.

Os índices que melhor pontuaram, destacados em tom esverdeado, pertencem ao setor água (3,83) e *land/soil* (3,5). Para o agricultor, água é um recurso em abundância, evidenciado em sua fala: “não há dificuldades na obtenção e armazenamento de água, o problema

normalmente é pela falta de energia, sem ela cessa o funcionamento da bomba, mas quando ocorre, a cisterna com a água da chuva é uma precaução dessa situação”. Quanto ao subsistema *land/soil*, na percepção do agricultor, é capaz de dar um rendimento regular para as culturas cultivadas e haver disponibilidade adequada para garantir a autossuficiência familiar.

Em relação à propriedade B, os subsistemas de Energia e Capital, semelhante à propriedade A, são os mais mal avaliados. Os Índices Nexus Agregado desses setores equivalem a 2,08 e 2,25, respectivamente. A análise deste primeiro índice aponta para dificuldades na obtenção de água e consequentemente na irrigação de legumes e hortaliças, devido à baixa qualidade e alto custo da energia. A Figura 5 apresenta os valores e as médias obtidas por cada indicador da propriedade B.

Figura 5 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade B

1ª	2ª	Caso B	W	E	F	Cap	L	Lan	Liv	INA
		w	IWmed=3	N/D	IWFmed=3,33	N/D	N/D	N/D	IWLiv=4	INAW=3,44
		E	IEW=2	N/D	IEF=2	IECap=1	N/D	N/D	IELivmed=3,33	INAE=2,08
		F	N/D	IFE=3	IFmed=3,5	IFCapmed=2,2	N/D	IFLan=4	IFLiv=4	INAF=3,34
		Cap	ICapW=1	ICapEmed=1	ICapF=3	N/D	ICapLab=4	ICapLanmed=1,5	ICapLiv=3	INACap=2,25
		Lab	ILabW=4	ILabE=4	ILabF=3	ILabCap=3	ILabmed=1	ILabLan=3	N/D	INALab=3
		Lan	N/D	N/D	ILanF=3	ILanCap=4	N/D	ILan=4	ILanLiv=3	INALan=3,5
		Liv	N/D	N/D	N/D	N/D	ILivLab=3	ILivLan=1	ILiv=4	INALiv=2,67

No entanto, para o consumo familiar, na percepção do agricultor, a energia disponível está adequada. Isso é corroborado na seguinte fala: “A disponibilidade de energia para obter água, irrigar a lavoura, precisa melhorar muito se a gente quiser aumentar a produção da horta, o estado atual não supri. Já no consumo familiar está adequada, pois usamos muita lenha devido ao preço do gás de cozinha, aproveitando a madeira velha já descartada da roça, para não desmatar a mata”.

Com relação ao subsistema de Capital, a propriedade tem custos com água potável, energia e manejo do solo sempre. Custos com mão-de-obra e insumos externos para agricultura ocorrem raramente ou nunca, já que a mão-de-obra empregada é totalmente familiar e a produção reaproveita a maior parte dos resíduos da agricultura para manejo do solo. Por fim, os índices que melhor pontuaram, destacados em tom esverdeado, pertencem ao setor água (3,44) e *land/soil* (3,5) com as mesmas razões comuns à propriedade A.

Quanto à propriedade C, os subsistemas de *Livelihoods* e Capital são os mais mal avaliados. O Índice Nexus Agregado de livelihoods médio equivale a 2,33. A necessidade de melhorar a mão-de-obra disponível a ser empregada nas atividades da propriedade e o fato de não haver coleta de lixo são as razões que impactam negativamente este índice. Nas palavras do agricultor: “As atividades da propriedade pesam muito só para mim e meu esposo, nossos filhos, os jovens, se engajam em outras atividades e ramos, não querem a lavoura. Por isso precisamos melhorar muito a disponibilidade de mão-de-obra para atender as atividades na propriedade”. E ainda: “O lixo doméstico somos obrigados a queimar, porque o carro só coleta uma ou duas vezes no ano”. A Figura 6 apresenta os valores e as médias obtidas por cada indicador da propriedade C.

Figura 6 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade C

1ª	2ª	Caso C	W	E	F	Cap	L	Lan	Liv	INA
	w	IWmed=3	N/D	IWFmed=3,25	N/D	N/D	N/D	N/D	IWLiv=4	INAW=3,42
	E	IEW=3	N/D	IEF=4	IECap=4	N/D	N/D	N/D	IELivmed=3,3	INAE=3,58
	F	N/D	IFE=4	IFmed=3,66	IFCapmed=3	N/D	N/D	IFLan=4	IFLiv=4	INAF=3,73
	Cap	ICapW=1	ICapEmed=1	ICapF=2	N/D	ICapLab=1	ICapLanmed=1,5	ICapLiv=4	INACap=1,75	
	Lab	ILabW=4	ILabE=4	ILabF=2	ILabCap=3	ILabmed=2	ILabLan=2	N/D		INALab=2,83
	Lan	N/D	N/D	ILanF=3	ILanCap=4	N/D	ILan=3	ILanLiv=4		INALan=3,5
	Liv	N/D	N/D	N/D	N/D	ILivLab=2	ILivLan=1	ILiv=4		INALiv=2,33

Com relação ao Capital (1,75), o agricultor percebe que os demais setores WEF demandam custos sempre ou às vezes, e afirma não ter recursos disponíveis para investimento. Segundo ele: “O lucro é abaixo da média, não tem um caixa, devido à falta de valorização das pessoas por nossos produtos”. Por fim, os índices que melhor pontuaram, destacados em tom esverdeado, pertencem ao setor Energia (3,58) e Alimento (3,73). Isso se deve ao fato de que a propriedade beneficia a casca do coco babaçu gerando carvão, utilizado para gerar uma renda extra com sua venda bem como no consumo familiar, reaproveitando resíduos para geração de energia (fogão à lenha ecológico). A propriedade sempre contabiliza e controla custos da produção, por fazer parte de uma cooperativa, de onde obtém apoio da comunidade acadêmica e governo.

Semelhante à propriedade C, os subsistemas de Capital e *Livelihoods* da propriedade D também podem ser considerados os mais problemáticos. As razões são as mesmas analisadas

na propriedade anterior. Embora haja a necessidade de mão-de-obra para realizar as atividades da propriedade, em grande parte dos casos não há recursos financeiros para contratar, o que acaba limitando a produção. A Figura 7 apresenta os valores e as médias obtidas por cada indicador da propriedade D.

Figura 7 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade D

1ª	2ª	Caso D	W	E	F	Cap	L	Lan	Liv	INA
		w	IWmed=4	N/D	IWFmed=3,25	N/D	N/D	N/D	IWLiv=4	INAW=3,75
		E	IEW=4	N/D	N/D	IECap=1	N/D	N/D	IELivmed=3,33	INAE=2,78
		F	N/D	IFE=1	IFmed=2,5	IFCapmed=2	N/D	IFLan=4	IFLiv=4	INAF=2,7
		Cap	ICapW=1	ICapEmed=1	ICapF=3	N/D	ICapLab=4	ICapLanmed=2,5	ICapLiv=2	INACap=2,25
		Lab	ILabW=4	ILabE=4	ILabF=2	ILabCap=4	ILabmed=1	ILabLan=3	N/D	INALab=3
		Lan	N/D	N/D	ILanF=3	ILanCap=4	N/D	ILan=3	ILanLiv=4	INALan=3,5
		Liv	N/D	N/D	N/D	N/D	ILivLab=2	ILivLan=1	ILiv=4	INALiv=2,33

O agricultor afirma necessitar de “*Mais parcerias, mais apoio técnico. Além disso o meu custo para transportar o coco babaçu da mata para casa (local de trabalho) é alto, por eu ser sozinha não há segurança em realizar a quebra (do coco babaçu) na própria mata*”. Na percepção do agricultor, este demonstra nunca controlar e contabilizar os seus custos, e raramente gerenciar o preço de venda dos produtos. Quando questionado, sua fala reflete: “*Se eu for anotar tudo o que gasto, nem vendo os meus produtos, porque o cliente impõe preço baixo. Não existe valorização do esforço de trabalho, da qualidade do produto...ser orgânico. Por isso percebo meu lucro abaixo da média comercial. Inadequado para investir*”.

Semelhante ao verificado na propriedade D, a propriedade E apresenta os subsistemas mais problemáticos Capital e Livelihoods. O Índice Nexus Agregado de Capital (2,5) vai ao encontro das principais dificuldades mencionadas pelo agricultor na produção de alimentos: “*O recurso financeiro é indispensável para o manejo e manutenção do plantio. Às vezes falta mesmo. Além de não usar veneno, o serviço manual aumenta e a mão-de-obra escassa dão muito trabalho. Meu sonho era ter um sistema de irrigação adequado, mas falta disponibilidade de ter recurso (investimento) e gente para estruturar*”. A Figura 8 apresenta os valores e as médias obtidas por cada indicador da propriedade E.

Figura 8 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade E

1ª	2ª	Caso E	W	E	F	Cap	L	Lan	Liv	INA
		w	IWmed=4	N/D	IWFmed=3,25	N/D	N/D	N/D	IWLiv=4	INAW=3,75
		E	IEW=4	N/D	IEF=4	IECap=1	N/D	N/D	IELivmed=3	INAE=3
		F	N/D	IFE=1	IFmed=3,5	IFCapmed=3,4	N/D	IFLan=4	IFLiv=4	INAF=3,18
		Cap	ICapW=4	ICapEmed=1	ICapF=2	N/D	ICapLab=2	ICapLanmed=2	ICapLiv=4	INACap=2,5
		Lab	ILabW=4	ILabE=4	ILabF=2	ILabCap=2	ILabmed=3,5	ILabLan=3	N/D	INALab=3,08
		Lan	N/D	N/D	ILanF=3	ILanCap=4	N/D	ILan=4	ILanLiv=4	INALan=3,75
		Liv	N/D	N/D	N/D	N/D	ILivLab=3	ILivLan=1	ILiv=4	INALiv=2,67

Com relação ao Índice Nexus Agregado de Livelihoods (2,67), embora haja um mal desempenho idêntico aos casos anteriores, o agricultor ressalta o papel do envolvimento efetivo da mulher nas atividades produtivas. Segundo ele: *“As decisões são compartilhadas, porque como tem muitas tarefas ao mesmo tempo, todos têm que contribuir, tem que ser igual (a divisão de tarefas). A mulher deve se envolver, com mudanças para melhorar. Se for só o homem, estanca!”*. Por fim, os índices que melhor pontuaram, destacados em tom esverdeado, pertencem ao setor Água (3,75) e Land/soil (3,75). O agricultor enfatiza a disponibilidade de ambos os recursos naturais para a autossuficiência da família, mas tão importante quanto a disponibilidade, é assegurar o acesso. Na prática, verificou-se que o uso de tecnologia social (cisterna instalada na propriedade) e o poço comunitário custeado pela prefeitura impactam tal acesso.

Já a propriedade F, o agricultor percebe como mais problemático as despesas com as atividades produtivas, especificamente com a compra de insumos externos como adubo orgânico e inorgânico, ração e medicamentos para os animais, segundo o agricultor: *“Não ampliamos a produção em razão da falta de recurso financeiro para investimento”* e *“Matéria-prima temos em abundância, mas falta por exemplo o freezer para estocarmos a matéria-prima (caju). ainda tem muito desperdício”*. Além do mais, a falta de apoio técnico e a necessidade de recurso financeiro para consumo familiar de alimentos e energia são mais dificuldades apontadas. Isso reflete o baixo desempenho do Índice Nexus Agregado de Capital e Livelihoods, evidenciando a relação entre recursos financeiro e meios de subsistência da família. A Figura 9 apresenta os valores e as médias obtidas por cada indicador da propriedade F.

Figura 9 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade F

1ª	2ª	Caso F	W	E	F	Cap	L	Lan	Liv	INA
	w		IWmed=4	N/D	IWFmed=3	N/D	N/D	N/D	IWLiv=2	INAW=3
	E		IEW=2	N/D	N/D	IECap=3	N/D	N/D	IELivmed=2,67	INAE=2,56
	F		N/D	IFE=4	IFmed=3	IFCapmed=1,8	N/D	IFLan=4	IFLiv=3	INAF=3,16
	Cap		ICapW=2	ICapEmed=1	ICapF=2	N/D	ICapLab=2	ICapLanmed=2	ICapLiv=2	INACap=1,83
	Lab		ILabW=4	ILabE=4	ILabF=2	ILabCap=2	ILabmed=2,5	ILabLan=2	N/D	INALab=2,75
	Lan		N/D	N/D	ILanF=2	ILanCap=4	N/D	ILan=4	ILanLiv=4	INALan=3,5
	Liv		N/D	N/D	N/D	N/D	ILivLab=2	ILivLan=1	ILiv=4	INALiv=2,33

Sobre os índices que melhor pontuaram, destacados em tom esverdeado, pertencem ao setor alimento (3,16) e *land/soil* (3,5) com as mesmas razões comuns à propriedade C. Esta foi a única propriedade que percebeu a disponibilidade de água aquém do consumo familiar. A fala do agricultor evidencia que: “No período de verão intenso, o poço comunitário não supre a necessidade da comunidade, então falta água na propriedade. A situação não é pior, porque temos poço particular e a cisterna que asseguram o acesso”.

A propriedade G apresentou como pior desempenho os Índices Nexus Agregado de Capital (1,47) e *Livelihoods* (2) e como melhor desempenho os Índices Nexus Agregado de Água (3) *Land/soil* (3,75), sendo um caso idêntico a duas propriedades anteriores (D e E), portanto possui obstáculos e desimpedimentos similares já analisados. A Figura 10 apresenta os valores e as médias obtidas por cada indicador da propriedade G.

Figura 10 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para propriedade G

1ª	2ª	Caso G	W	E	F	Cap	L	Lan	Liv	INA
	w		IWmed=2	N/D	IWFmed=3	N/D	N/D	N/D	IWLiv=4	INAW=3
	E		IEW=3	N/D	IEF=3	IECap=1	N/D	N/D	IELivmed=2,66	INAE=2,22
	F		N/D	IFE=1	IFmed=2,5	IFCapmed=3,4	N/D	IFLan=4	IFLiv=4	INAF=2,98
	Cap		ICapW=1	ICapEmed=1,33	ICapF=1	N/D	ICapLab=2	ICapLanmed=1,5	ICapLiv=2	INACap=1,47
	Lab		ILabW=4	ILabE=4	ILabF=1	ILabCap=4	ILabmed=1	ILabLan=1	N/D	INALab=2,5
	Lan		N/D	N/D	ILanF=3	ILanCap=4	N/D	ILan=4	ILanLiv=4	INALan=3,75
	Liv		N/D	N/D	N/D	N/D	ILivLab=2	ILivLan=1	ILiv=3	INALiv=2

3.6 PASSO 6 – INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS, APRESENTAÇÃO, CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO

No Passo 6, se realiza a integração dos resultados das análises para estabelecer comparações entre as diferentes unidades de análise em termos de WEF Nexus. Além disso, o caráter participativo da ferramenta indica que os resultados sejam apresentados e validados com os entrevistados. O intuito é refletir sobre o processo de avaliação bem como os resultados percebidos, portanto encerrando o primeiro ciclo de avaliação do WEF Nexus com recomendações com base nas necessidades e prioridades debatidas.

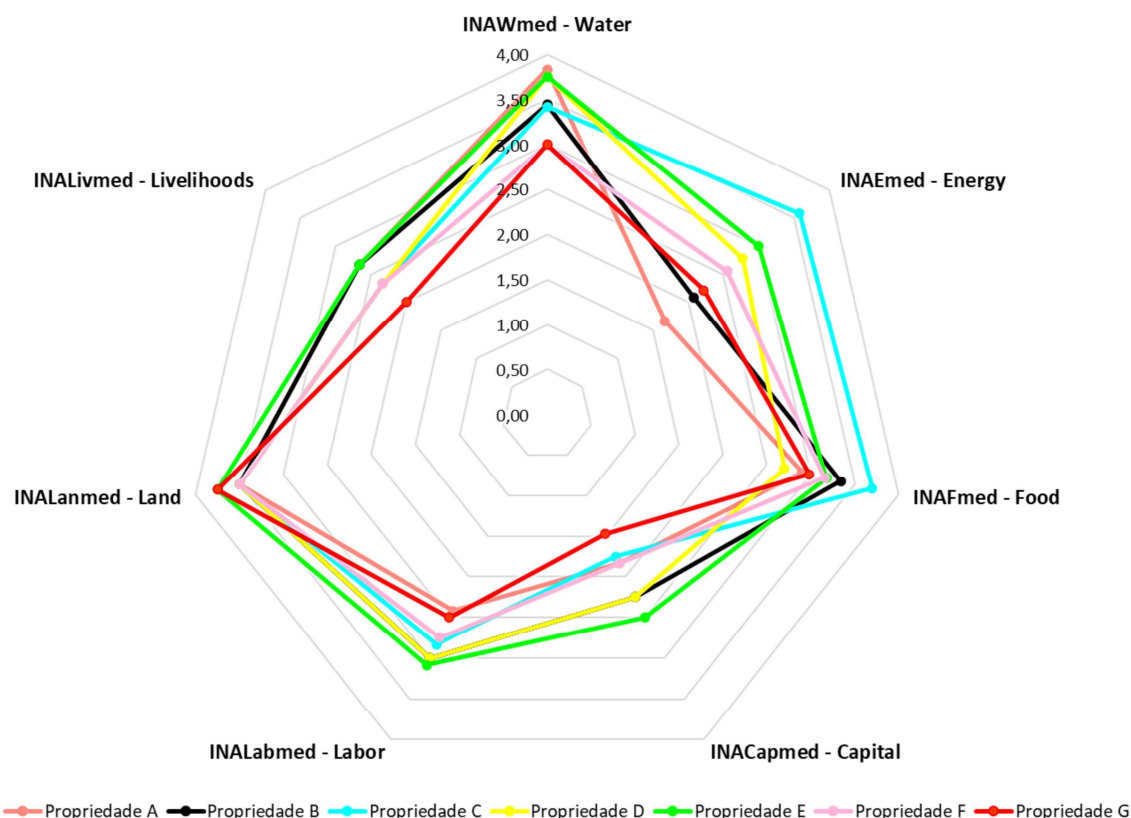
A partir da integração dos resultados, foi possível notar que o subsistema de Capital se revela como problemático para todas as propriedades rurais familiares. Somado ao Capital, o subsistema de Energia (Propriedade A e B) e *Livelihoods* (Propriedade C, D, E, F e G) também tiveram baixo desempenho com dificuldades associadas. A propriedade G foi a pior em termos de Capital e *Livelihoods*. Já em termos de Energia, a propriedade A teve este posto. A Figura 11 apresenta a integração dos Índices Nexus Agregado para cada propriedade rural estudada.

Figura 11 - Matriz de integração dos Índices Nexus Agregado para sete propriedades, Piauí, Brasil

Índice Propriedade	INAWmed Water	INAEmed Energy	INAFmed Food	INACapmed Capital	INALabmed Labor	INALanmed Land	INALivmed Livelihoods
Propriedade A	3,83	1,67	2,90	1,83	2,42	3,50	2,67
Propriedade B	3,44	2,08	3,34	2,25	3,00	3,50	2,67
Propriedade C	3,42	3,58	3,70	1,75	2,83	3,50	2,33
Propriedade D	3,75	2,78	2,70	2,25	3,00	3,50	2,33
Propriedade E	3,75	3,00	3,18	2,50	3,08	3,75	2,67
Propriedade F	3,00	2,56	3,16	1,83	2,75	3,50	2,33
Propriedade G	3,00	2,22	2,98	1,47	2,50	3,75	2,00

Quanto aos subsistemas que tiveram um melhor desempenho, percebe-se uma maior variação entre os casos. No entanto Land/soil está entre os melhores na percepção dos agricultores em 6 das 7 propriedades (A, B, D, E, F e G). Em seguida, considera-se os subsistemas Água (A, B, D, E e G), Alimento (C e F) e Energia (C). A Figura 12 apresenta um gráfico no modelo radar com o comportamento das propriedades quanto aos índices agregados de avaliação do WEF Nexus obtidos para os subsistemas dispostos no sentido horário.

Figura 12 - Gráfico com propriedades e índices agregados de avaliação do WEF Nexus



A partir dessa avaliação, tem-se uma série de desafios e pontos positivos evidenciados nesse primeiro ciclo de avaliação MESMIS-Nexus. A análise de conteúdo desses aspectos leva a um conjunto de lições práticas para direcionar os desafios enfrentados pelas propriedades, no tópico 4.2.

4 DISCUSSÃO

4.1 APLICAÇÃO DA FERRAMENTA

Diante da lacuna de pesquisa sobre ferramentas de abordagem sistêmica e participativa específicas para avaliar as interações WEF Nexus, esta pesquisa teve como objetivo adaptar o método participativo MESMIS para avaliar as interações sistêmicas do WEF Nexus em propriedades agrícolas. Portanto, o estudo realizado resulta na proposição e aplicação da ferramenta MESMIS-Nexus que possui algumas vantagens.

Incorporar o caráter participativo nos processos de avaliação das interações WEF Nexus aprimora a ação de diagnosticar e compreender os setores WEF, além de identificar as sinergias e trade-offs decorrentes das suas interações e que importam na perspectiva dos

usuários/stakeholders. A ferramenta pode então fornecer a oportunidade de operacionalizar, aprender e dialogar sobre o WEF Nexus na agricultura, especificamente em contextos locais.

Al-Ansari et al., (2015) destacou na sua aplicação a importância dos detalhes dos subsistemas relevantes serem incorporados à análise para realizar uma avaliação confiável. Os três passos iniciais da ferramenta MESMIS-Nexus são congruentes nesse sentido, sendo válido ressaltar que o emprego de técnica participativa com os agricultores e avaliadores é indispensável para obter um entendimento contundente das características da unidade de análise.

Liu et al., (2019) reconhecem que o procedimento proposto pelos autores para avaliação da sustentabilidade agrícola com base no WEF Nexus em um distrito de irrigação, não pode ser generalizado para outros contextos e deve ser considerado específico do local estudado. Ao encontro desse aspecto, uma atual revisão sistemática da literatura identifica que diversas ferramentas são restritas em escopo geográfico e escala de aplicação e que a maioria carece de ampla aplicação em estudos de caso reais (TAGUTA et al., 2022).

A ferramenta MESMIS-Nexus assegura a flexibilidade com base na construção de indicadores relevantes para o contexto (Passo 4) ter intrínseca relação com os processos-chave e mapeamento (Passos 2 e 3), além de ser uma ferramenta acessível e aplicável, disponibilizada prontamente para uso em outros contextos por uma ampla gama de usuários, profissionais experientes ou não, conforme recomendado por Byers (2015) e Bazilian et al. (BAZILIAN et al., 2011).

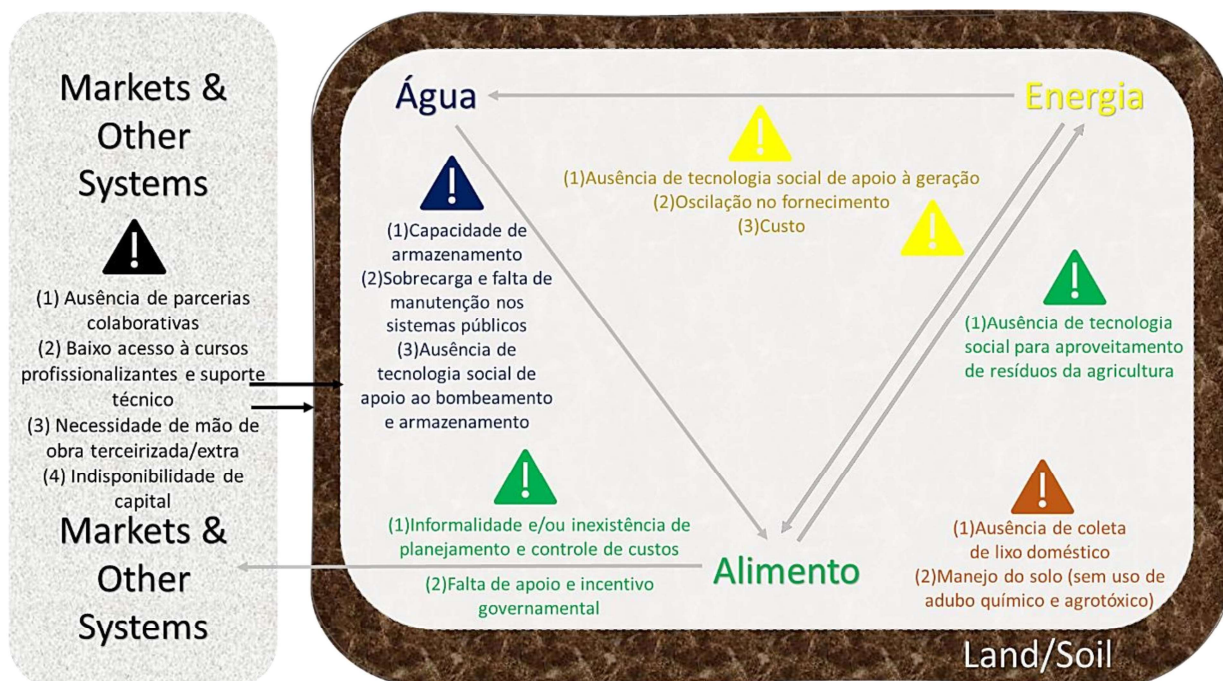
A complexidade das interações entre os diferentes componentes WEF Nexus exige a confiabilidade não apenas em evidências quantitativas (KARABULUT et al., 2018). Portanto, a ferramenta MESMIS-Nexus processa dados qualitativos, relevando a importância de apreender a percepção dos agricultores (Passos 5 e 6) sobre as interações WEF Nexus, sobretudo para entender e identificar, a partir dos usuários finais, desafios e oportunidades de melhoria em direção à segurança de recursos e ao desenvolvimento agrícola sustentável.

4.2 OPORTUNIDADES DE MELHORIA

As principais dificuldades apontadas pelos agricultores levam às lições práticas para orientar uma produção mais sustentável considerando as interações entre os setores WEF, portanto atendendo ao objetivo de identificar desafios e oportunidades de melhoria para as propriedades de agricultura familiar com aplicação da ferramenta MESMIS-NEXUS (OE3). A

Figura 13 apresenta uma síntese das principais dificuldades apontadas pelos agricultores familiares.

Figura 13 - Síntese das principais dificuldades apontadas pelos agricultores familiares



Primeiro, manter uma tecnologia social, como as cisternas que captam água da chuva, ou o sistema de bombeamento da água através do uso de energia solar é importante para a autossuficiência familiar e produção de alimentos. Parte das famílias não possuem acesso a recursos que permitam o aproveitamento da água da chuva e dependem de sistemas públicos de fornecimento de água, em que relatam sobrecarga e defasagem nas manutenções periódicas. Nossos resultados refletiram que a atuação do poder público precisa ser consistente se o município quiser assegurar o acesso à água às famílias, primordial para irrigação nas lavouras e autossuficiência familiar.

Em segundo, recomenda-se a diversificação nos sistemas de energia para reduzir a vulnerabilidade energética (BIEBER et al., 2018) nas fazendas. Os achados empíricos mostram que a ausência de tecnologia social de apoio à geração de energia limpa, o custo e a baixa qualidade do fornecimento da energia elétrica impacta o acesso à água e limita o incremento da produção, logo é um setor que precisa ser melhorado na percepção dos agricultores. Ações voltadas para o desenvolvimento sustentável podem trazer benefícios financeiros a curto e longo prazo (LAURETT; PAÇO; MAINARDES, 2021), por exemplo investimentos feitos pelos agricultores em energia solar e biodigestor para geração de biogás.

Em terceiro lugar, para diminuir a necessidade de insumos externos e aumentar a produtividade, recomenda-se a manutenção do uso da rotação de culturas e diversificação de cultivos (ARAUJO et al., 2021; DEGANI et al., 2019), pois a adoção destas ações tendem a aumentar a resistência ao estresse e a regulação de pragas (ALTIERI et al., 2017; POVEDA; GÓMEZ; MARTÍNEZ, 2008).

Quarto, entre as propriedades estudadas, os agricultores familiares que não fazem parte de cooperativas não contabilizam e/ou controlam custos de produção. Também foi constatado que o apoio e incentivo governamental como criação de feiras, cursos profissionalizantes e suporte técnico, na percepção deles precisa ser muito melhorado para que eles consigam prosperar. A falta de tempo, capital para investir e a carga de trabalho são outras dificuldades relatadas no que diz respeito ao planejamento e execução das atividades produtivas.

Este cenário vai ao encontro de barreiras ao desenvolvimento sustentável identificadas especificamente nos estudos relacionados à agricultura (LEITE et al., 2014). Recomenda-se mais ações de capacitação voltadas a gestão dos empreendimentos familiares rurais, incluindo a participação de pais e filhos, importante para a continuidade do empreendimento familiar rural. Fortalecimento da assistência técnica rural que conheça as necessidades específicas de cada região. Incentivo ao estabelecimento de parcerias, sobretudo entre governo e agricultores, como a ampliação e reformulação de políticas voltadas aos agricultores familiares e que considerem as peculiaridades desses produtores- Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) e Programa de Aquisição de Alimentos (PAA), por exemplo. Portanto, maior conscientização sobre a existência de alternativas alinhadas às práticas sustentáveis, ressaltando benefícios de sua implementação.

5 CONCLUSÃO, CONTRIBUIÇÕES E LIMITAÇÕES DA PESQUISA

O presente estudo propôs uma ferramenta de abordagem sistêmica e participativa para avaliar as interações WEF Nexus na percepção de agricultores e identificar oportunidades de melhoria, em nível de propriedades familiares rurais. A abordagem WEF Nexus tem um forte potencial de aplicação em contextos locais e pode fortalecer as atividades agrícolas familiares através da gestão integrada dos setores (SOARES; SILVA, 2022), sendo relevante propor ferramentas que permitam a avaliação das interações e integrem as partes interessadas no processo. Para isso, foram selecionadas sete propriedades familiares rurais, localizadas no

Brasil, com o objetivo de entender a percepção de diferentes agricultores quanto as interações WEF Nexus estabelecidas na prática.

A ferramenta MESMIS-Nexus se mostrou aplicável na prática. O caráter sistêmico e participativo da ferramenta foi obtido a partir da determinação dos processos-chave e mapeamento do sistema que também se mostrou adequado para a seleção dos indicadores neste contexto. As etapas são pautadas na participação dos agricultores que mensuram, dialogam e refletem sua percepção acerca dos Índices Nexus Agregado sobre os setores de água, energia, alimento, capital, mão-de-obra, terra/solo e meios de subsistência.

Os principais resultados indicaram que os setores de capital e livelihoods são os mais problemáticos nas propriedades estudadas. Essa avaliação decorre de problemas relacionados aos diversos custos existentes nos demais subsistemas WEF, dependência de insumos externos para agricultura, à necessidade de maior disponibilidade de mão-de-obra, à limitada infraestrutura hídrica e energética e à insuficiência de recursos financeiros capazes de incrementar a produção. No presente estudo, persistem inúmeros desafios, como a baixa articulação e incentivo governamental e a informalidade do planejamento e gestão das atividades produtivas. Apesar disso, os resultados indicaram que, na percepção dos agricultores, água e terra/solo com condições de acesso favoráveis são os setores mais bem avaliados e importantes para autossuficiência das famílias.

Este estudo contribui com a literatura ao implementar a avaliação do WEF Nexus por meio de estudos de caso reais, permitindo traduzir a teoria WEF Nexus em prática (TAGUTA et al., 2022) para identificação de desafios na percepção das parte interessadas. Este trabalho também contribui para a teoria ao criar um entendimento do cenário das interações entre WEF Nexus e quatro novos setores em contexto local e em profundidade, já que a maior parte da literatura trata de aplicações à nível nacional, predominantemente utilizando métodos de programação, modelagem, simulação e otimização. Esses novos setores não haviam sido estudados em conjunto com a abordagem WEF Nexus em pesquisas anteriores. A proposição da ferramenta também permitiu o desenvolvimento de um questionário e escalas para mensurar a percepção dos stakeholders sobre o tema quantitativamente. Outra contribuição consiste na elaboração e validação de um roteiro de entrevista de fácil acesso e compreensão que poderá ser tanto adaptado quanto utilizado e replicado para outros contextos e/ou sistemas em pesquisas futuras por profissionais diversos, desde iniciantes até experientes.

Na prática, os resultados podem ser úteis para entidades governantes, pesquisadores e estudantes que atuam direta ou indiretamente com a temática, já que decorrem da análise de

desafios vividos pelos agricultores familiares sob uma perspectiva holística e sistêmica. Apesar de existir diferentes desafios e contextos enfrentados pelos agricultores familiares nas dimensões da sustentabilidade, este estudo reconhece a importância da participação cívica da comunidade local com um olhar mais atento às necessidades de atores que não apenas podem afetar a mudança, mas também são afetados por elas.

Como sugestão para estudos futuros, podem ser incluídas outras partes interessadas, como a adição da percepção de diferentes entidades públicas, considerando dois aspectos (1) dependência dos recursos e (2) influência que exercem na área. Os dados foram coletados especificamente na região nordeste do Brasil, outras regiões geográficas também poderiam ser analisadas, buscando entender as particularidades da agricultura familiar, heterogeneidade regional dos sistemas agrícolas e dos produtores em diferentes territórios. Estudos acerca do mesmo sistema ao longo do tempo (comparação longitudinal) podem ainda ser conduzidos, especialmente quando há adoção de projetos voltados para contribuir com uma agricultura mais sustentável. Este estudo também pode ser um ponto de partida para estudos quantitativos utilizando modelagem de equações estruturais e o respectivo impacto ou relação quantitativa entre os constructos.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS (Artigo 1)

AL-ANSARI, T. et al. Development of a life cycle assessment tool for the assessment of food production systems within the energy, water and food nexus. **Sustainable Production and Consumption**, v. 2, p. 52–66, 1 abr. 2015.

AL-SAIDI, M.; ELAGIB, N. A. Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. **Science of The Total Environment**, v. 574, p. 1131–1139, 1 jan. 2017.

AL-THANI, N. A.; AL-ANSARI, T. Comparing the convergence and divergence within industrial ecology, circular economy, and the energy-water-food nexus based on resource management objectives. **Sustainable Production and Consumption**, v. 27, p. 1743–1761, 1 jul. 2021.

ALBERTI, M. A. et al. **PROPOSAL OF A SET OF INDICATORS FOR SUSTAINABILITY EVALUATION OF FOOD PRODUCTION IN AN URBAN CONTEXT**. WIT Transactions on Ecology and the Environment. **Anais...** 8 dez. 2020. Disponível em: <<http://library.witpress.com/viewpaper.asp?pcode=UA20-009-1>>

ALBRECHT, T. R.; CROOTOFF, A.; SCOTT, C. A. The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 4, p. 043002, 1 abr. 2018.

ALTIERI, M. A. et al. Technological Approaches to Sustainable Agriculture at a Crossroads: An Agroecological Perspective. **Sustainability 2017, Vol. 9, Page 349**, v. 9, n. 3, p. 349, 27 fev. 2017.

AMJATH-BABU, T. S. et al. Integrated modelling of the impacts of hydropower projects on the water-food-energy nexus in a transboundary Himalayan river basin. **Applied Energy**, v. 239, p. 494–503, 1 abr. 2019.

ANDERSON, R. et al. An integrated modeling framework for crop and biofuel systems using the DSSAT and GREET models. **Environmental Modelling & Software**, v. 108, p. 40–50, 1 out. 2018.

ARAÚJO, H. F. P. DE et al. A sustainable agricultural landscape model for tropical drylands. **Land Use Policy**, v. 100, p. 104913, 1 jan. 2021.

BAGHERI, A. Potato farmers' perceptions of sustainable agriculture: The case of Ardabil province of Iran. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 5, p. 1977–1981, 2010.

BAKHSHIANLAMOUKI, E. et al. A system dynamics model to quantify the impacts of

- restoration measures on the water-energy-food nexus in the Urmia lake Basin, Iran. **Science of The Total Environment**, v. 708, p. 134874, 15 mar. 2020.
- BATISTA, M. L. P. et al. Endogenous knowledge, culture, and nature in the approach to sustainable local development in a rural community in Northeastern Brazil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e55310616237–e55310616237, 9 jun. 2021.
- BAZILIAN, M. et al. Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. **Energy Policy**, v. 39, n. 12, p. 7896–7906, 1 dez. 2011.
- BENSON, D.; GAIN, A. K.; ROUILLARD, J. J. Water Governance in a Comparative Perspective: From IWRM to a “Nexus” Approach? **Water Alternatives**, v. 8, n. 1, p. 756–773, 2015.
- BIEBER, N. et al. Sustainable planning of the energy-water-food nexus using decision making tools. **Energy Policy**, v. 113, p. 584–607, 1 fev. 2018.
- BIGGS, E. M. et al. Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods. **Environmental Science & Policy**, v. 54, p. 389–397, 1 dez. 2015a.
- BIGGS, E. M. et al. Sustainable development and the water-energy-food nexus: A perspective on livelihoods. **Environmental Science and Policy**, v. 54, p. 389–397, 1 dez. 2015b.
- BRASIL. LEI Nº 11.326, DE 24 DE JULHO DE 2006. . 2006.
- BROUWER, F. et al. Energy modelling and the Nexus concept. **Energy Strategy Reviews**, v. 19, p. 1–6, 1 jan. 2018.
- BYERS, E. A. Tools for tackling the water-energy-food nexus. **Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems**, v. 2, n. 1, 1 jan. 2015.
- CAI, X. et al. Understanding and managing the food-energy-water nexus – opportunities for water resources research. **Advances in Water Resources**, v. 111, p. 259–273, 1 jan. 2018.
- CAMPANA, P. E. et al. Managing agricultural drought in Sweden using a novel spatially-explicit model from the perspective of water-food-energy nexus. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, p. 1382–1393, 1 out. 2018.
- CANSINO-LOEZA, B. et al. Systematic Approach for Assessing the Water–Energy–Food Nexus for Sustainable Development in Regions with Resource Scarcities. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 8, n. 36, p. 13734–13748, 14 set. 2020.
- CANSINO-LOEZA, B.; PONCE-ORTEGA, J. M. Sustainable assessment of Water-Energy-Food Nexus at regional level through a multi-stakeholder optimization approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 290, p. 125194, 25 mar. 2021.
- CANSINO-LOEZA, B.; TOVAR-FACIO, J.; PONCE-ORTEGA, J. M. Stochastic optimization of the water-energy-food nexus in disadvantaged rural communities to achieve the

sustainable development goals. **Sustainable Production and Consumption**, v. 28, p. 1249–1261, 1 out. 2021.

CATANZARO, M. Using Qualitative Analytical Techniques. **Nursing Research Theory and Practice**, p. 437–456, 1988.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 27 abr. 2007.

CHOPIN, P. et al. Avenues for improving farming sustainability assessment with upgraded tools, sustainability framing and indicators. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 2, p. 1–20, 1 abr. 2021.

CORONA-LÓPEZ, E. et al. Water–Food Nexus Assessment in Agriculture: A Systematic Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 9, p. 4983, 7 maio 2021.

DACCACHE, A. et al. Water and energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 12, 1 dez. 2014.

DAHER, B. T.; MOHTAR, R. H. Water–energy–food (WEF) Nexus Tool 2.0: guiding integrative resource planning and decision-making. **Water International**, v. 40, n. 5–6, p. 748–771, 19 set. 2015.

DAI, J. et al. Water-energy nexus: A review of methods and tools for macro-assessment. **Applied Energy**, v. 210, p. 393–408, 15 jan. 2018.

DALLA FONTANA, M. et al. The water-energy-food nexus research in the Brazilian context: What are we missing? **Environmental Science & Policy**, v. 112, n. June 2019, p. 172–180, out. 2020.

DALLA FONTANA, M. et al. The Five Ws of the Water-Energy-Food Nexus: A Reflexive Approach to Enable the Production of Actionable Knowledge. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 124, 29 set. 2021.

DARGIN, J.; DAHER, B.; MOHTAR, R. H. Complexity versus simplicity in water energy food nexus (WEF) assessment tools. **Science of The Total Environment**, v. 650, p. 1566–1575, 10 fev. 2019.

DAS, A.; SAHOO, B.; PANDA, S. N. Evaluation of Nexus-Sustainability and Conventional Approaches for Optimal Water-Energy-Land-Crop Planning in an Irrigated Canal Command. **Water Resources Management**, v. 34, n. 8, p. 2329–2351, 3 jun. 2020.

DE VITO, R. et al. An index-based approach for the sustainability assessment of irrigation practice based on the water-energy-food nexus framework. **Advances in Water Resources**, v. 110, p. 423–436, 1 dez. 2017.

- DEGANI, E. et al. Crop rotations in a climate change scenario: short-term effects of crop diversity on resilience and ecosystem service provision under drought. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 285, p. 106625, 1 dez. 2019.
- DEGIRMENCIOGLU, A. et al. ASSESSING THE SUSTAINABILITY OF CROP PRODUCTION IN THE GEDIZ BASIN, TURKEY: A WATER, ENERGY, AND FOOD NEXUS APPROACH. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 28, p. 2511–2522, 2019.
- DO, P. et al. Exploring synergies in the water-food-energy nexus by using an integrated hydro-economic optimization model for the Lancang-Mekong River basin. **Science of The Total Environment**, v. 728, p. 137996, 1 ago. 2020.
- EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research Published by : Academy of Management Stable. **The Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532–550, 1989.
- EL-GAFY, I. Water–food–energy nexus index: analysis of water–energy–food nexus of crop’s production system applying the indicators approach. **Applied Water Science**, v. 7, n. 6, p. 2857–2868, 22 out. 2017.
- EL-GAFY, I.; APUL, D. Expanding the Dynamic Modeling of Water-Food-Energy Nexus to Include Environmental, Economic, and Social Aspects Based on Life Cycle Assessment Thinking. **Water Resources Management**, v. 35, n. 13, p. 4349–4362, 30 out. 2021.
- ELO, S.; KYNGÄS, H. The qualitative content analysis process. **Journal of Advanced Nursing**, v. 62, n. 1, p. 107–115, abr. 2008.
- ENDO, A. et al. Methods of the Water-Energy-Food Nexus. v. 7, n. 10, p. 5806–5830, 23 out. 2015.
- ENDO, A. et al. Dynamics of water–energy–food nexus methodology, methods, and tools. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 13, p. 46–60, 1 fev. 2020.
- FABIANI, S. et al. Assessment of the economic and environmental sustainability of Variable Rate Technology (VRT) application in different wheat intensive European agricultural areas. A Water energy food nexus approach. **Environmental Science & Policy**, v. 114, p. 366–376, 1 dez. 2020.
- FAN, C.; LIN, C.-Y.; HU, M.-C. Empirical Framework for a Relative Sustainability Evaluation of Urbanization on the Water–Energy–Food Nexus Using Simultaneous Equation Analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 6, p. 901, 13 mar. 2019.
- FAO. **Master Plan. Retrieved from International Year of Family Farming**. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/oek/oekr/pdf/UN_Resolution_Internacional_Year_Family_Farming>. Acesso em: 22 nov. 2022.

FAO. The Water-Energy-Food Nexus A new approach in support of food security and sustainable agriculture. 2014a.

FAO. **The Water-Energy-Food Nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture.**

FEOLA, G. et al. Researching farmer behaviour in climate change adaptation and sustainable agriculture: Lessons learned from five case studies. **Journal of Rural Studies**, v. 39, p. 74–84, 1 jun. 2015.

FERREIRA, J. M. L. et al. Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas. **Informe Agropecuário**, v. 33, p. 12–25, 2012.

FLAMMINI, A.; PURI, M.; PLUSCHKE, L.; DUBOIS, O. . F. Walking the nexus talk: assessing the water-energy-food nexus in the context of the sustainable energy for all initiative. **Environment and Natural Resources Management**, v. 58, 2014.

FOGUESATTO, C. R.; BORGES, J. A. R.; MACHADO, J. A. D. A review and some reflections on farmers' adoption of sustainable agricultural practices worldwide. **Science of The Total Environment**, v. 729, p. 138831, 10 ago. 2020.

GAO, J. et al. Optimizing Regional Food and Energy Production under Limited Water Availability through Integrated Modeling. **Sustainability**, v. 10, n. 6, p. 1689, 23 maio 2018.

GAO, J. et al. Strategic decision-support modeling for robust management of the food–energy–water nexus under uncertainty. **Journal of Cleaner Production**, v. 292, p. 125995, 10 abr. 2021.

GERESSU, R. et al. Assessing River Basin Development Given Water-Energy-Food-Environment Interdependencies. **Earth's Future**, v. 8, n. 8, p. e2019EF001464, 7 ago. 2020.

GHAFOORI-KHARANAGH, S. et al. Participatory Water-Food-Energy Nexus Approach for Evaluation and Design of Groundwater Governance. **Water Resources Management**, v. 35, n. 11, p. 3481–3495, 28 set. 2021.

GONZÁLEZ-ROSELL, A.; BLANCO, M.; ARFA, I. Integrating Stakeholder Views and System Dynamics to Assess the Water–Energy–Food Nexus in Andalusia. **Water**, v. 12, n. 11, p. 3172, 13 nov. 2020.

GROVER, S.; GRUVER, J. “Slow to change”: Farmers' perceptions of place-based barriers to sustainable agriculture. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 32, n. 6, p. 511–523, 2017.

HAGHJOO, R. et al. Development and validation of management assessment tools considering water, food, and energy security nexus at the farm level. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 16, n. May, p. 100206, 2022.

- HAMIDOV, A.; HELMING, K. Sustainability Considerations in Water–Energy–Food Nexus Research in Irrigated Agriculture. **Sustainability**, v. 12, n. 15, p. 6274, 4 ago. 2020.
- HOFF, H. **Understanding the Nexus: background paper for the Bonn 2011 Nexus Conference**. Germany: Stockholm Environment Institute, 2011.
- HOFF, H. et al. A nexus approach for the MENA region-from concept to knowledge to action. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, n. APR, p. 48, 2019.
- HOWELLS, M. et al. Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 7, p. 621–626, jun. 2013.
- IRENA. **Renewable Energy in the Water, Energy and Food Nexus**. Abu Dhabi: [s.n.]. Disponível em: <www.irena.org>. Acesso em: 22 jan. 2023.
- ISLAM, K. M. N. et al. A review of the water-related energy consumption of the food system in nexus studies. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123414, 10 jan. 2021.
- KARABULUT, A. et al. Mapping water provisioning services to support the ecosystem–water–food–energy nexus in the Danube river basin. **Ecosystem Services**, v. 17, p. 278–292, 1 fev. 2016.
- KARABULUT, A. A. et al. A proposal for integration of the ecosystem-water-food-land-energy (EWFLE) nexus concept into life cycle assessment: A synthesis matrix system for food security. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3874–3889, 20 jan. 2018.
- KIMMICH, C. et al. Participatory Modeling Updates Expectations for Individuals and Groups, Catalyzing Behavior Change and Collective Action in Water-Energy-Food Nexus Governance. **Earth's Future**, v. 7, n. 12, p. 1337–1352, 1 dez. 2019.
- KING, C.; JAAFAR, H. Rapid assessment of the water–energy–food–climate nexus in six selected basins of North Africa and West Asia undergoing transitions and scarcity threats. **International Journal of Water Resources Development**, v. 31, n. 3, p. 343–359, 3 jul. 2015.
- KLING, C. L. et al. Integrated Assessment Models of the Food, Energy, and Water Nexus: A Review and an Outline of Research Needs. **Annual Review of Resource Economics**, v. 9, n. 1, p. 143–163, 5 out. 2017.
- KURIAN, M. The water-energy-food nexus. **Environmental Science & Policy**, v. 68, p. 97–106, 1 fev. 2017.
- LASPIDOU, C. S. et al. Systems thinking on the resource nexus: Modeling and visualisation tools to identify critical interlinkages for resilient and sustainable societies and institutions. **Science of The Total Environment**, v. 717, p. 137264, 15 maio 2020.
- LAURETT, R.; PAÇO, A.; MAINARDES, E. W. Sustainable Development in Agriculture and its Antecedents, Barriers and Consequences – An Exploratory Study. **Sustainable Production**

and Consumption, v. 27, p. 298–311, 1 jul. 2021.

LAZARO, L. L. B. et al. Policy and governance dynamics in the water-energy-food-land nexus of biofuels: Proposing a qualitative analysis model. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 149, p. 111384, 1 out. 2021.

LEITE, A. E. et al. Agricultural production and sustainable development in a Brazilian region (Southwest, São Paulo State): motivations and barriers to adopting sustainable and ecologically friendly practices. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 21, n. 5, p. 422–429, 3 set. 2014.

LI, M. et al. An optimal modelling approach for managing agricultural water-energy-food nexus under uncertainty. **Science of The Total Environment**, v. 651, n. Pt 1, p. 1416–1434, 15 fev. 2019a.

LI, M. et al. Stochastic multi-objective modeling for optimization of water-food-energy nexus of irrigated agriculture. **Advances in Water Resources**, v. 127, p. 209–224, 1 maio 2019b.

LI, M. et al. Optimization of agricultural water–food–energy nexus in a random environment: an integrated modelling approach. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 35, n. 1, p. 3–19, 6 jan. 2021a.

LI, S. et al. Developing an integrated technology-environment-economics model to simulate food-energy-water systems in Corn Belt watersheds. **Environmental Modelling & Software**, v. 143, p. 105083, 1 set. 2021b.

LI, X. et al. Evaluating the Collaborative Security of Water–Energy–Food in China on the Basis of Symbiotic System Theory. **Water**, v. 13, n. 8, p. 1112, 17 abr. 2021c.

LIN, H. et al. Life cycle assessment of a biogas system for cassava processing in Brazil to close the loop in the water-waste-energy-food nexus. **Journal of Cleaner Production**, v. 299, p. 126861, 25 maio 2021.

LIN, Y.-C. et al. Comprehensive assessment of regional food-energy-water nexus with GIS-based tool. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 151, p. 104457, 1 dez. 2019.

LIU, C. et al. Evaluating Agricultural Sustainability Based on the Water–Energy–Food Nexus in the Chenmengquan Irrigation District of China. **Sustainability**, v. 11, n. 19, p. 5350, 27 set. 2019.

LIU, J. et al. Challenges in operationalizing the water–energy–food nexus. **Hydrological Sciences Journal**, v. 62, n. 11, p. 1714–1720, 18 ago. 2017.

LIU, J. et al. Nexus approaches to global sustainable development. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 9, p. 466–476, 14 set. 2018.

LIU, Y. et al. A quantitative analysis framework for water-food-energy nexus in an agricultural

watershed using WEAP-MODFLOW. **Sustainable Production and Consumption**, v. 31, p. 693–706, 1 maio 2022.

LÓPEZ-RIDAURA, S.; MASERA, O. R.; ASTIER, M. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. **Ecological Indicators**, v. 2, p. 135–148, 2002.

MA, Y. et al. Mathematical modeling for planning water-food-ecology-energy nexus system under uncertainty: A case study of the Aral Sea Basin. **Journal of Cleaner Production**, v. 308, p. 127368, 25 jul. 2021.

MANNAN, M. et al. Quantifying the energy, water and food nexus: A review of the latest developments based on life-cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 193, p. 300–314, 20 ago. 2018.

MÄRKER, C.; VENGHAUS, S.; HAKE, J. F. Integrated governance for the food–energy–water nexus – The scope of action for institutional change. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 97, p. 290–300, 1 dez. 2018.

MARSHALL, C.; ROSSMAN, G. B. **Designing Qualitative Research**. Sage Publi ed. London: Sage Publications, 1995.

MASERA, O.; ASTIER, M.; LÓPEZ, S. **Sustentabilidad y manejo de recursos naturales** Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiaada A.C., 2000. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/299870632_Sustentabilidad_y_manejo_de_recursos_naturales_El_Marco_de_evaluacion_MESMIS#:~:text=El Marco para la Evaluación,y en el ámbito local%2C>

MCCARL, B. A. et al. Model Use in WEF Nexus Analysis: a Review of Issues. **Current Sustainable/Renewable Energy Reports**, v. 4, n. 3, p. 144–152, 10 set. 2017.

MIRALLES-WILHELM, F. Development and application of integrative modeling tools in support of food-energy-water nexus planning—a research agenda. **Journal of Environmental Studies and Sciences**, v. 6, n. 1, p. 3–10, mar. 2016.

NAHIDUL KARIM, M.; DAHER, B. Evaluating the Potential of a Water-Energy-Food Nexus Approach toward the Sustainable Development of Bangladesh. **Water**, v. 13, n. 3, p. 366, 31 jan. 2021.

NGAMMUANGTUENG, P.; JAKRAWATANA, N.; GHEEWALA, S. H. Nexus Resources Efficiency Assessment and Management towards Transition to Sustainable Bioeconomy in Thailand. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 160, p. 104945, 1 set. 2020.

NHAMO, L. et al. An integrative analytical model for the water-energy-food nexus: South

- Africa case study. **Environmental Science & Policy**, v. 109, p. 15–24, 1 jul. 2020.
- NOTARNICOLA, B. et al. The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: A review of the challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 399–409, 1 jan. 2017.
- PAHL-WOSTL, C. Governance of the water-energy-food security nexus: A multi-level coordination challenge. **Environmental Science and Policy**, v. 92, p. 356–367, 1 fev. 2019.
- PANDEY, V. P.; SHRESTHA, S. **Evolution of the nexus as a policy and development discourse**. Water-Ener ed. Washington: John Wiley and Sons, Inc, 2017.
- PITTOCK, J.; DUMARESQ, D.; BASSI, A. Modeling the Hydropower–Food Nexus in Large River Basins: A Mekong Case Study. **Water**, v. 8, n. 10, p. 425, 28 set. 2016.
- POVEDA, K.; GÓMEZ, M. I.; MARTÍNEZ, E. Diversification practices: their effect on pest regulation and production. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 34, n. 2, p. 131–144, 31 dez. 2008.
- PROCTOR, K.; TABATABAIE, S. M. H.; MURTHY, G. S. Gateway to the perspectives of the Food-Energy-Water nexus. **Science of The Total Environment**, v. 764, p. 142852, 10 abr. 2021.
- PURWANTO, A. et al. Water-energy-food nexus: Critical review, practical applications, and prospects for future research. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 4, p. 1–18, 2 fev. 2021.
- QIAN, X.-Y.; LIANG, Q.-M. Sustainability evaluation of the provincial water-energy-food nexus in China: Evolutions, obstacles, and response strategies. **Sustainable Cities and Society**, v. 75, p. 103332, 1 dez. 2021.
- RAMIREZ, C.; ALMULLA, Y.; FUSO NERINI, F. Reusing wastewater for agricultural irrigation: a water-energy-food Nexus assessment in the North Western Sahara Aquifer System. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 4, p. 044052, 1 abr. 2021.
- RASUL, G.; SHARMA, B. The nexus approach to water–energy–food security: an option for adaptation to climate change. **Climate Policy**, v. 16, n. 6, p. 682–702, 17 ago. 2016.
- RAVAR, Z. et al. System dynamics modeling for assessment of water–food–energy resources security and nexus in Gavkhuni basin in Iran. **Ecological Indicators**, v. 108, p. 105682, 1 jan. 2020.
- ROIBÁS, L.; ELBEHRI, A.; HOSPIDO, A. Evaluating the sustainability of Ecuadorian bananas: Carbon footprint, water usage and wealth distribution along the supply chain. **Sustainable Production and Consumption**, v. 2, p. 3–16, 1 abr. 2015.
- ROSALES-ASENSIO, E. et al. Decision-making tools for sustainable planning and conceptual framework for the energy–water–food nexus. **Energy Reports**, v. 6, p. 4–15, 1 nov. 2020.

- SALADINI, F. et al. Linking the water-energy-food nexus and sustainable development indicators for the Mediterranean region. **Ecological Indicators**, v. 91, p. 689–697, 1 ago. 2018.
- SÁNCHEZ-ZARCO, X. G. et al. Water, energy, and food security assessment in regions with semiarid climates. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 22, n. 10, p. 2145–2161, 24 dez. 2020.
- SARKODIE, S. A.; OWUSU, P. A. Bibliometric analysis of water–energy–food nexus: Sustainability assessment of renewable energy. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 13, p. 29–34, 1 fev. 2020.
- SCANLON, B. R. et al. The food-energy-water nexus: Transforming science for society. **Water Resources Research**, v. 53, n. 5, p. 3550–3556, 1 maio 2017.
- SEPÚLVEDA, S. et al. **Biograma: metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios**. [s.l.: s.n.].
- SERRANO-TOVAR, T. et al. Structuring an integrated water-energy-food nexus assessment of a local wind energy desalination system for irrigation. **Science of The Total Environment**, v. 689, p. 945–957, 1 nov. 2019.
- SHANNAK, S.; MABREY, D.; VITTORIO, M. Moving from theory to practice in the water–energy–food nexus: An evaluation of existing models and frameworks. **Water-Energy Nexus**, v. 1, n. 1, p. 17–25, 1 jun. 2018.
- SILVEIRA, V. C. P. **OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO PECUÁRIOS NA BACIA DO RIO IBIRAPUITÃ E SUAS RELAÇÕES COM ÁGUA E A ENERGIA NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS – NEXUS PAMPA**. [s.l.] EDITORA CRV, 2022.
- SIMPSON, G. B.; JEWITT, G. P. W. The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, n. FEB, 8 fev. 2019.
- SMAJGL, A.; WARD, J.; PLUSCHKE, L. The water–food–energy Nexus – Realising a new paradigm. **Journal of Hydrology**, v. 533, p. 533–540, 1 fev. 2016.
- SMITH, G. et al. Trade-offs across the water-energy-food nexus: A triple bottom line sustainability assessment of desalination for agriculture in the San quintín Valley, Mexico. **Environmental Science & Policy**, v. 114, p. 445–452, 1 dez. 2020.
- SNYDER, H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 104, p. 333–339, 1 nov. 2019.
- SOARES, H. M. DE; SILVA, T. N. DA. FEW Nexus (nexo alimento-energia-água) na agricultura familiar: um estudo de caso na RedeCoop/RS. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, n. 4, 7 nov. 2022.

- SOBROSA NETO, R. DE C. et al. An integrative approach for the water-energy-food nexus in beef cattle production: A simulation of the proposed model to Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 1108–1123, 10 dez. 2018.
- STONE, T. F. et al. A Life Cycle Assessment Approach for Vegetables in Large-, Mid-, and Small-Scale Food Systems in the Midwest US. **Sustainability**, v. 13, n. 20, p. 11368, 14 out. 2021.
- SUN, J. et al. Development of an uncertain water-food-energy nexus model for pursuing sustainable agricultural and electric productions. **Agricultural Water Management**, v. 241, p. 106384, 1 nov. 2020.
- SUŠNIK, J. et al. Integrated System Dynamics Modelling for water scarcity assessment: Case study of the Kairouan region. **Science of The Total Environment**, v. 440, p. 290–306, 1 dez. 2012.
- TABATABAIE, S. M. H.; MURTHY, G. S. Development of an input-output model for food-energy-water nexus in the pacific northwest, USA. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 168, p. 105267, 1 maio 2021.
- TAGUTA, C. et al. Water-Energy-Food Nexus Tools in Theory and Practice: A Systematic Review. **Frontiers in Water**, v. 4, p. 40, 25 mar. 2022.
- THOMPSON, J. et al. Iowa Urban FEWS: Integrating Social and Biophysical Models for Exploration of Urban Food, Energy, and Water Systems. **Frontiers in Big Data**, v. 4, p. 26, 5 maio 2021.
- TIAN, H. et al. Optimizing resource use efficiencies in the food–energy–water nexus for sustainable agriculture: from conceptual model to decision support system. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 33, p. 104–113, 1 ago. 2018.
- TOBOSO-CHAVERO, S. et al. Incorporating user preferences in rooftop food-energy-water production through integrated sustainability assessment *. **Environmental Research Communications**, v. 3, n. 6, p. 065001, 1 jun. 2021.
- TOBOSO-CHAVERO, S. et al. Towards Productive Cities: Environmental Assessment of the Food-Energy-Water Nexus of the Urban Roof Mosaic. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 4, p. 767–780, 26 ago. 2019.
- TODOROVIC, V. et al. Solutions for More Sustainable Distribution in the Short Food Supply Chains. **Sustainability 2018, Vol. 10, Page 3481**, v. 10, n. 10, p. 3481, 28 set. 2018.
- TOLEDO, C.; SCOGNAMIGLIO, A. Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns). **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6871, 17 jun. 2021.

- TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207–222, set. 2003.
- VENGHAUS, S.; DIEKEN, S. From a few security indices to the FEW Security Index: Consistency in global food, energy and water security assessment. **Sustainable Production and Consumption**, v. 20, p. 342–355, 1 out. 2019.
- VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195–219, 1 fev. 2002.
- WANG, X. C. et al. Extended water-energy nexus contribution to environmentally-related sustainable development goals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 150, 1 out. 2021.
- WICAKSONO, A.; JEONG, G.; KANG, D. Water, energy, and food nexus: review of global implementation and simulation model development. **Water Policy**, v. 19, n. 3, p. 440–462, 1 jun. 2017.
- WICHELS, D. The water-energy-food nexus: Is the increasing attention warranted, from either a research or policy perspective? **Environmental Science & Policy**, v. 69, p. 113–123, 1 mar. 2017.
- WIEGLEB, V.; BRUNS, A. What is driving the water-energy-food nexus? Discourses, knowledge, and politics of an emerging resource governance concept. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, n. OCT, p. 128, 30 out. 2018.
- WOLDE, Z. et al. Indicators of Land, Water, Energy and Food (LWEF) Nexus Resource Drivers: A Perspective on Environmental Degradation in the Gidabo Watershed, Southern Ethiopia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 10, p. 5181, 13 maio 2021.
- YANG, Y. C. E. et al. Modeling the Agricultural Water–Energy–Food Nexus in the Indus River Basin, Pakistan. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 142, n. 12, p. 04016062, 22 dez. 2016.
- YI, J. et al. Sustainability assessment of the water-energy-food nexus in Jiangsu Province, China. **Habitat International**, v. 95, p. 102094, 1 jan. 2020.
- YIN, R. K. **Case Study Research and Applications: Design and Methods**. 6. ed. Los Angeles: Sage Publications, Inc, 2018.
- YUAN, K.-Y. et al. Spatial optimization of the food, energy, and water nexus: A life cycle assessment-based approach. **Energy Policy**, v. 119, p. 502–514, 1 ago. 2018.

YUE, Q. et al. Fuzzy multi-objective modelling for managing water-food-energy-climate change-land nexus towards sustainability. **Journal of Hydrology**, v. 596, p. 125704, 1 maio 2021.

ZHANG, C. et al. Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 625–639, 10 set. 2018.

ZHANG, P. et al. Structure Dynamics and Risk Assessment of Water-Energy-Food Nexus: A Water Footprint Approach. **Sustainability**, v. 11, n. 4, p. 1187, 23 fev. 2019a.

ZHANG, P. et al. Food-energy-water (FEW) nexus for urban sustainability: A comprehensive review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 142, p. 215–224, 1 mar. 2019b.

ZHANG, X.; VESSELINOV, V. V. Integrated modeling approach for optimal management of water, energy and food security nexus. **Advances in Water Resources**, v. 101, p. 1–10, 1 mar. 2017.

ZHENG, J. et al. Exploring the water–energy–food nexus from a perspective of agricultural production efficiency using a three-stage data envelopment analysis modelling evaluation method: a case study of the middle and lower reaches of the Yangtze River, China. **Water Policy**, v. 21, n. 1, p. 49–72, 1 fev. 2019.

REFERÊNCIAS (Artigo 2)

- AL-ANSARI, T. et al. Development of a life cycle assessment tool for the assessment of food production systems within the energy, water and food nexus. **Sustainable Production and Consumption**, v. 2, p. 52–66, 1 abr. 2015.
- ALTIERI, M. A. et al. Technological Approaches to Sustainable Agriculture at a Crossroads: An Agroecological Perspective. **Sustainability** 2017, Vol. 9, Page 349, v. 9, n. 3, p. 349, 27 fev. 2017.
- ARAÚJO, H. F. P. DE et al. A sustainable agricultural landscape model for tropical drylands. **Land Use Policy**, v. 100, p. 104913, 1 jan. 2021.
- BAKHSHIANLAMOUKI, E. et al. A system dynamics model to quantify the impacts of restoration measures on the water-energy-food nexus in the Urmia lake Basin, Iran. **Science of The Total Environment**, v. 708, p. 134874, 15 mar. 2020.
- BATISTA, M. L. P. et al. Endogenous knowledge, culture, and nature in the approach to sustainable local development in a rural community in Northeastern Brazil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e55310616237–e55310616237, 9 jun. 2021.
- BAZILIAN, M. et al. Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. **Energy Policy**, v. 39, n. 12, p. 7896–7906, 1 dez. 2011.
- BENSON, D.; GAIN, A. K.; ROUILLARD, J. J. Water Governance in a Comparative Perspective: From IWRM to a “Nexus” Approach? **Water Alternatives**, v. 8, n. 1, p. 756–773, 2015.
- BIEBER, N. et al. Sustainable planning of the energy-water-food nexus using decision making tools. **Energy Policy**, v. 113, p. 584–607, 1 fev. 2018.
- BIGGS, E. M. et al. Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods. **Environmental Science & Policy**, v. 54, p. 389–397, 1 dez. 2015a.
- BIGGS, E. M. et al. Sustainable development and the water-energy-food nexus: A perspective on livelihoods. **Environmental Science and Policy**, v. 54, p. 389–397, 1 dez. 2015b.
- BRASIL. LEI Nº 11.326, DE 24 DE JULHO DE 2006. . 2006.
- BYERS, E. A. Tools for tackling the water-energy-food nexus. **Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems**, v. 2, n. 1, 1 jan. 2015.
- CAI, X. et al. Understanding and managing the food-energy-water nexus – opportunities for water resources research. **Advances in Water Resources**, v. 111, p. 259–273, 1 jan. 2018.
- CANSINO-LOEZA, B.; PONCE-ORTEGA, J. M. Sustainable assessment of Water-Energy-Food Nexus at regional level through a multi-stakeholder optimization approach. **Journal of**

Cleaner Production, v. 290, p. 125194, 25 mar. 2021.

CAUCHICK MIGUEL, P. A. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 27 abr. 2007.

CORONA-LÓPEZ, E. et al. Water–Food Nexus Assessment in Agriculture: A Systematic Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 9, p. 4983, 7 maio 2021.

DARGIN, J.; DAHER, B.; MOHTAR, R. H. Complexity versus simplicity in water energy food nexus (WEF) assessment tools. **Science of The Total Environment**, v. 650, p. 1566–1575, 10 fev. 2019.

DEGANI, E. et al. Crop rotations in a climate change scenario: short-term effects of crop diversity on resilience and ecosystem service provision under drought. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 285, p. 106625, 1 dez. 2019.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research Published by : Academy of Management Stable. **The Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532–550, 1989.

ELO, S.; KYNGÄS, H. The qualitative content analysis process. **Journal of Advanced Nursing**, v. 62, n. 1, p. 107–115, abr. 2008.

ENDO, A. et al. Dynamics of water–energy–food nexus methodology, methods, and tools. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 13, p. 46–60, 1 fev. 2020.

FLAMMINI, A.; PURI, M.; PLUSCHKE, L.; DUBOIS, O. . F. Walking the nexus talk: assessing the water-energy-food nexus in the context of the sustainable energy for all initiative. **Environment and Natural Resources Management**, v. 58, 2014.

GAO, J. et al. Optimizing Regional Food and Energy Production under Limited Water Availability through Integrated Modeling. **Sustainability**, v. 10, n. 6, p. 1689, 23 maio 2018.

GONZÁLEZ-ROSELL, A.; BLANCO, M.; ARFA, I. Integrating Stakeholder Views and System Dynamics to Assess the Water–Energy–Food Nexus in Andalusia. **Water**, v. 12, n. 11, p. 3172, 13 nov. 2020.

HAGHJOO, R. et al. Development and validation of management assessment tools considering water, food, and energy security nexus at the farm level. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 16, n. May, p. 100206, 2022.

KARABULUT, A. A. et al. A proposal for integration of the ecosystem-water-food-land-energy (EWFLE) nexus concept into life cycle assessment: A synthesis matrix system for food security. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3874–3889, 20 jan. 2018.

LAURETT, R.; PAÇO, A.; MAINARDES, E. W. Sustainable Development in Agriculture and its Antecedents, Barriers and Consequences – An Exploratory Study. **Sustainable Production**

and Consumption, v. 27, p. 298–311, 1 jul. 2021.

LAZARO, L. L. B. et al. Policy and governance dynamics in the water-energy-food-land nexus of biofuels: Proposing a qualitative analysis model. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 149, p. 111384, 1 out. 2021.

LEITE, A. E. et al. Agricultural production and sustainable development in a Brazilian region (Southwest, São Paulo State): motivations and barriers to adopting sustainable and ecologically friendly practices. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 21, n. 5, p. 422–429, 3 set. 2014.

LIN, H. et al. Life cycle assessment of a biogas system for cassava processing in Brazil to close the loop in the water-waste-energy-food nexus. **Journal of Cleaner Production**, v. 299, p. 126861, 25 maio 2021.

LIN, Y.-C. et al. Comprehensive assessment of regional food-energy-water nexus with GIS-based tool. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 151, p. 104457, 1 dez. 2019.

LIU, C. et al. Evaluating Agricultural Sustainability Based on the Water–Energy–Food Nexus in the Chenmengquan Irrigation District of China. **Sustainability**, v. 11, n. 19, p. 5350, 27 set. 2019.

LIU, J. et al. Nexus approaches to global sustainable development. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 9, p. 466–476, 14 set. 2018.

LÓPEZ-RIDAURA, S.; MASERA, O. R.; ASTIER, M. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. **Ecological Indicators**, v. 2, p. 135–148, 2002.

MASERA, O.; ASTIER, M.; LÓPEZ, S. **Sustentabilidad y manejo de recursos naturales** Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable A.C., 2000. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/299870632_Sustentabilidad_y_manejo_de_recursos_naturales_El_Marco_de_evaluacion_MESMIS#:~:text=El Marco para la Evaluación,y en el ámbito local%2C>

PANDEY, V. P.; SHRESTHA, S. **Evolution of the nexus as a policy and development discourse**. Water-Ener ed. Washington: John Wiley and Sons, Inc, 2017.

POVEDA, K.; GÓMEZ, M. I.; MARTÍNEZ, E. Diversification practices: their effect on pest regulation and production. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 34, n. 2, p. 131–144, 31 dez. 2008.

PROCTOR, K.; TABATABAIE, S. M. H.; MURTHY, G. S. Gateway to the perspectives of the Food-Energy-Water nexus. **Science of The Total Environment**, v. 764, p. 142852, 10 abr.

2021.

PURWANTO, A. et al. Water-energy-food nexus: Critical review, practical applications, and prospects for future research. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 4, p. 1–18, 2 fev. 2021.

RAVAR, Z. et al. System dynamics modeling for assessment of water–food–energy resources security and nexus in Gavkhuni basin in Iran. **Ecological Indicators**, v. 108, p. 105682, 1 jan. 2020.

SERRANO-TOVAR, T. et al. Structuring an integrated water-energy-food nexus assessment of a local wind energy desalination system for irrigation. **Science of The Total Environment**, v. 689, p. 945–957, 1 nov. 2019.

SIMPSON, G. B.; JEWITT, G. P. W. The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, n. FEB, 8 fev. 2019.

SMITH, G. et al. Trade-offs across the water-energy-food nexus: A triple bottom line sustainability assessment of desalination for agriculture in the San quintín Valley, Mexico. **Environmental Science & Policy**, v. 114, p. 445–452, 1 dez. 2020.

SOARES, H. M. DE; SILVA, T. N. DA. FEW Nexus (nexo alimento-energia-água) na agricultura familiar: um estudo de caso na RedeCoop/RS. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, n. 4, 7 nov. 2022.

SOBROSA NETO, R. DE C. et al. An integrative approach for the water-energy-food nexus in beef cattle production: A simulation of the proposed model to Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 1108–1123, 10 dez. 2018.

TABATABAIE, S. M. H.; MURTHY, G. S. Development of an input-output model for food-energy-water nexus in the pacific northwest, USA. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 168, p. 105267, 1 maio 2021.

TAGUTA, C. et al. Water-Energy-Food Nexus Tools in Theory and Practice: A Systematic Review. **Frontiers in Water**, v. 4, p. 40, 25 mar. 2022.

TOBOSO-CHAVERO, S. et al. Incorporating user preferences in rooftop food-energy-water production through integrated sustainability assessment *. **Environmental Research Communications**, v. 3, n. 6, p. 065001, 1 jun. 2021.

TOLEDO, C.; SCOGNAMIGLIO, A. Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns). **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6871, 17 jun. 2021.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195–219, 1

fev. 2002.

WANG, X. C. et al. Extended water-energy nexus contribution to environmentally-related sustainable development goals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 150, 1 out. 2021.

WICHELS, D. The water-energy-food nexus: Is the increasing attention warranted, from either a research or policy perspective? **Environmental Science & Policy**, v. 69, p. 113–123, 1 mar. 2017.

YI, J. et al. Sustainability assessment of the water-energy-food nexus in Jiangsu Province, China. **Habitat International**, v. 95, p. 102094, 1 jan. 2020.

YIN, R. K. **Case Study Research and Applications: Design and Methods**. 6. ed. Los Angeles: Sage Publications, Inc, 2018.

YUAN, K.-Y. et al. Spatial optimization of the food, energy, and water nexus: A life cycle assessment-based approach. **Energy Policy**, v. 119, p. 502–514, 1 ago. 2018.

ZHANG, C. et al. Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 625–639, 10 set. 2018.

REFERÊNCIAS (Texto Integrativo)

- AL-ANSARI, T. et al. Development of a life cycle assessment tool for the assessment of food production systems within the energy, water and food nexus. **Sustainable Production and Consumption**, v. 2, p. 52–66, 1 abr. 2015.
- AL-SAIDI, M.; ELAGIB, N. A. Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. **Science of The Total Environment**, v. 574, p. 1131–1139, 1 jan. 2017.
- AL-THANI, N. A.; AL-ANSARI, T. Comparing the convergence and divergence within industrial ecology, circular economy, and the energy-water-food nexus based on resource management objectives. **Sustainable Production and Consumption**, v. 27, p. 1743–1761, 1 jul. 2021.
- ALBERTI, M. A. et al. **PROPOSAL OF A SET OF INDICATORS FOR SUSTAINABILITY EVALUATION OF FOOD PRODUCTION IN AN URBAN CONTEXT**. WIT Transactions on Ecology and the Environment. **Anais...** 8 dez. 2020. Disponível em: <<http://library.witpress.com/viewpaper.asp?pcode=UA20-009-1>>
- ALBRECHT, T. R.; CROOTOF, A.; SCOTT, C. A. The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 4, p. 043002, 1 abr. 2018.
- ALTIERI, M. A. et al. Technological Approaches to Sustainable Agriculture at a Crossroads: An Agroecological Perspective. **Sustainability 2017, Vol. 9, Page 349**, v. 9, n. 3, p. 349, 27 fev. 2017.
- AMJATH-BABU, T. S. et al. Integrated modelling of the impacts of hydropower projects on the water-food-energy nexus in a transboundary Himalayan river basin. **Applied Energy**, v. 239, p. 494–503, 1 abr. 2019.
- ANDERSON, R. et al. An integrated modeling framework for crop and biofuel systems using the DSSAT and GREET models. **Environmental Modelling & Software**, v. 108, p. 40–50, 1 out. 2018.
- ARAUJO, H. F. P. DE et al. A sustainable agricultural landscape model for tropical drylands. **Land Use Policy**, v. 100, p. 104913, 1 jan. 2021.
- BAGHERI, A. Potato farmers' perceptions of sustainable agriculture: The case of Ardabil province of Iran. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 5, p. 1977–1981, 2010.
- BAKHSHEANLAMOUKI, E. et al. A system dynamics model to quantify the impacts of restoration measures on the water-energy-food nexus in the Urmia lake Basin, Iran. **Science of The Total Environment**, v. 708, p. 134874, 15 mar. 2020.

- BATISTA, M. L. P. et al. Endogenous knowledge, culture, and nature in the approach to sustainable local development in a rural community in Northeastern Brazil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e55310616237–e55310616237, 9 jun. 2021.
- BAZILIAN, M. et al. Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. **Energy Policy**, v. 39, n. 12, p. 7896–7906, 1 dez. 2011.
- BENSON, D.; GAIN, A. K.; ROUILLARD, J. J. Water Governance in a Comparative Perspective: From IWRM to a “Nexus” Approach? **Water Alternatives**, v. 8, n. 1, p. 756–773, 2015.
- BIEBER, N. et al. Sustainable planning of the energy-water-food nexus using decision making tools. **Energy Policy**, v. 113, p. 584–607, 1 fev. 2018.
- BIGGS, E. M. et al. Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods. **Environmental Science & Policy**, v. 54, p. 389–397, 1 dez. 2015a.
- BIGGS, E. M. et al. Sustainable development and the water-energy-food nexus: A perspective on livelihoods. **Environmental Science and Policy**, v. 54, p. 389–397, 1 dez. 2015b.
- BRASIL. LEI Nº 11.326, DE 24 DE JULHO DE 2006. . 2006.
- BROUWER, F. et al. Energy modelling and the Nexus concept. **Energy Strategy Reviews**, v. 19, p. 1–6, 1 jan. 2018.
- BYERS, E. A. Tools for tackling the water-energy-food nexus. **Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems**, v. 2, n. 1, 1 jan. 2015.
- CAI, X. et al. Understanding and managing the food-energy-water nexus – opportunities for water resources research. **Advances in Water Resources**, v. 111, p. 259–273, 1 jan. 2018.
- CAMPANA, P. E. et al. Managing agricultural drought in Sweden using a novel spatially-explicit model from the perspective of water-food-energy nexus. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, p. 1382–1393, 1 out. 2018.
- CANSINO-LOEZA, B. et al. Systematic Approach for Assessing the Water–Energy–Food Nexus for Sustainable Development in Regions with Resource Scarcities. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 8, n. 36, p. 13734–13748, 14 set. 2020.
- CANSINO-LOEZA, B.; PONCE-ORTEGA, J. M. Sustainable assessment of Water-Energy-Food Nexus at regional level through a multi-stakeholder optimization approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 290, p. 125194, 25 mar. 2021.
- CANSINO-LOEZA, B.; TOVAR-FACIO, J.; PONCE-ORTEGA, J. M. Stochastic optimization of the water-energy-food nexus in disadvantaged rural communities to achieve the sustainable development goals. **Sustainable Production and Consumption**, v. 28, p. 1249–1261, 1 out. 2021.

- CATANZARO, M. Using Qualitative Analytical Techniques. **Nursing Research Theory and Practice**, p. 437–456, 1988.
- CAUCHICK MIGUEL, P. A. Estudo de caso na engenharia de produção: estruturação e recomendações para sua condução. **Production**, v. 17, n. 1, p. 216–229, 27 abr. 2007.
- CHOPIN, P. et al. Avenues for improving farming sustainability assessment with upgraded tools, sustainability framing and indicators. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 41, n. 2, p. 1–20, 1 abr. 2021.
- CORONA-LÓPEZ, E. et al. Water–Food Nexus Assessment in Agriculture: A Systematic Review. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 9, p. 4983, 7 maio 2021.
- DACCACHE, A. et al. Water and energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 12, 1 dez. 2014.
- DAHER, B. T.; MOHTAR, R. H. Water–energy–food (WEF) Nexus Tool 2.0: guiding integrative resource planning and decision-making. **Water International**, v. 40, n. 5–6, p. 748–771, 19 set. 2015.
- DAI, J. et al. Water-energy nexus: A review of methods and tools for macro-assessment. **Applied Energy**, v. 210, p. 393–408, 15 jan. 2018.
- DALLA FONTANA, M. et al. The water-energy-food nexus research in the Brazilian context: What are we missing? **Environmental Science & Policy**, v. 112, n. June 2019, p. 172–180, out. 2020.
- DALLA FONTANA, M. et al. The Five Ws of the Water-Energy-Food Nexus: A Reflexive Approach to Enable the Production of Actionable Knowledge. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 124, 29 set. 2021.
- DARGIN, J.; DAHER, B.; MOHTAR, R. H. Complexity versus simplicity in water energy food nexus (WEF) assessment tools. **Science of The Total Environment**, v. 650, p. 1566–1575, 10 fev. 2019.
- DAS, A.; SAHOO, B.; PANDA, S. N. Evaluation of Nexus-Sustainability and Conventional Approaches for Optimal Water-Energy-Land-Crop Planning in an Irrigated Canal Command. **Water Resources Management**, v. 34, n. 8, p. 2329–2351, 3 jun. 2020.
- DE VITO, R. et al. An index-based approach for the sustainability assessment of irrigation practice based on the water-energy-food nexus framework. **Advances in Water Resources**, v. 110, p. 423–436, 1 dez. 2017.
- DEGANI, E. et al. Crop rotations in a climate change scenario: short-term effects of crop diversity on resilience and ecosystem service provision under drought. **Agriculture**,

Ecosystems & Environment, v. 285, p. 106625, 1 dez. 2019.

DEGIRMENCIOGLU, A. et al. ASSESSING THE SUSTAINABILITY OF CROP PRODUCTION IN THE GEDIZ BASIN, TURKEY: A WATER, ENERGY, AND FOOD NEXUS APPROACH. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 28, p. 2511–2522, 2019.

DO, P. et al. Exploring synergies in the water-food-energy nexus by using an integrated hydro-economic optimization model for the Lancang-Mekong River basin. **Science of The Total Environment**, v. 728, p. 137996, 1 ago. 2020.

EISENHARDT, K. M. Building Theories from Case Study Research Published by : Academy of Management Stable. **The Academy of Management Review**, v. 14, n. 4, p. 532–550, 1989.

EL-GAFY, I. Water–food–energy nexus index: analysis of water–energy–food nexus of crop’s production system applying the indicators approach. **Applied Water Science**, v. 7, n. 6, p. 2857–2868, 22 out. 2017.

EL-GAFY, I.; APUL, D. Expanding the Dynamic Modeling of Water-Food-Energy Nexus to Include Environmental, Economic, and Social Aspects Based on Life Cycle Assessment Thinking. **Water Resources Management**, v. 35, n. 13, p. 4349–4362, 30 out. 2021.

ELO, S.; KYNGÄS, H. The qualitative content analysis process. **Journal of Advanced Nursing**, v. 62, n. 1, p. 107–115, abr. 2008.

ENDO, A. et al. Methods of the Water-Energy-Food Nexus. v. 7, n. 10, p. 5806–5830, 23 out. 2015.

ENDO, A. et al. Dynamics of water–energy–food nexus methodology, methods, and tools. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 13, p. 46–60, 1 fev. 2020.

FABIANI, S. et al. Assessment of the economic and environmental sustainability of Variable Rate Technology (VRT) application in different wheat intensive European agricultural areas. A Water energy food nexus approach. **Environmental Science & Policy**, v. 114, p. 366–376, 1 dez. 2020.

FAN, C.; LIN, C.-Y.; HU, M.-C. Empirical Framework for a Relative Sustainability Evaluation of Urbanization on the Water–Energy–Food Nexus Using Simultaneous Equation Analysis. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 6, p. 901, 13 mar. 2019.

FAO. **Master Plan. Retrieved from International Year of Family Farming**. Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/oek/oekr/pdf/UN_Resolution_Internacional_Year_Family_Farming>. Acesso em: 22 nov. 2022.

FAO. The Water-Energy-Food Nexus A new approach in support of food security and sustainable agriculture. 2014a.

FAO. **The Water-Energy-Food Nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture.**

FEOLA, G. et al. Researching farmer behaviour in climate change adaptation and sustainable agriculture: Lessons learned from five case studies. **Journal of Rural Studies**, v. 39, p. 74–84, 1 jun. 2015.

FERREIRA, J. M. L. et al. Indicadores de Sustentabilidade em Agroecossistemas. **Informe Agropecuário**, v. 33, p. 12–25, 2012.

FLAMMINI, A.; PURI, M.; PLUSCHKE, L.; DUBOIS, O. . F. Walking the nexus talk: assessing the water-energy-food nexus in the context of the sustainable energy for all initiative. **Environment and Natural Resources Management**, v. 58, 2014.

FOGUESATTO, C. R.; BORGES, J. A. R.; MACHADO, J. A. D. A review and some reflections on farmers' adoption of sustainable agricultural practices worldwide. **Science of The Total Environment**, v. 729, p. 138831, 10 ago. 2020.

GAO, J. et al. Optimizing Regional Food and Energy Production under Limited Water Availability through Integrated Modeling. **Sustainability**, v. 10, n. 6, p. 1689, 23 maio 2018.

GAO, J. et al. Strategic decision-support modeling for robust management of the food–energy–water nexus under uncertainty. **Journal of Cleaner Production**, v. 292, p. 125995, 10 abr. 2021.

GERESSU, R. et al. Assessing River Basin Development Given Water-Energy-Food-Environment Interdependencies. **Earth's Future**, v. 8, n. 8, p. e2019EF001464, 7 ago. 2020.

GHAFOORI-KHARANAGH, S. et al. Participatory Water-Food-Energy Nexus Approach for Evaluation and Design of Groundwater Governance. **Water Resources Management**, v. 35, n. 11, p. 3481–3495, 28 set. 2021.

GONZÁLEZ-ROSELL, A.; BLANCO, M.; ARFA, I. Integrating Stakeholder Views and System Dynamics to Assess the Water–Energy–Food Nexus in Andalusia. **Water**, v. 12, n. 11, p. 3172, 13 nov. 2020.

GROVER, S.; GRUVER, J. “Slow to change”: Farmers' perceptions of place-based barriers to sustainable agriculture. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 32, n. 6, p. 511–523, 2017.

HAGHJOO, R. et al. Development and validation of management assessment tools considering water, food, and energy security nexus at the farm level. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 16, n. May, p. 100206, 2022.

HAMIDOV, A.; HELMING, K. Sustainability Considerations in Water–Energy–Food Nexus Research in Irrigated Agriculture. **Sustainability**, v. 12, n. 15, p. 6274, 4 ago. 2020.

- HOFF, H. **Understanding the Nexus: background paper for the Bonn 2011 Nexus Conference**. Germany: Stockholm Environment Institute, 2011.
- HOFF, H. et al. A nexus approach for the MENA region-from concept to knowledge to action. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, n. APR, p. 48, 2019.
- HOWELLS, M. et al. Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies. **Nature Climate Change**, v. 3, n. 7, p. 621–626, jun. 2013.
- IRENA. **Renewable Energy in the Water, Energy and Food Nexus**. Abu Dhabi: [s.n.]. Disponível em: <www.irena.org>. Acesso em: 22 jan. 2023.
- ISLAM, K. M. N. et al. A review of the water-related energy consumption of the food system in nexus studies. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123414, 10 jan. 2021.
- KARABULUT, A. et al. Mapping water provisioning services to support the ecosystem–water–food–energy nexus in the Danube river basin. **Ecosystem Services**, v. 17, p. 278–292, 1 fev. 2016.
- KARABULUT, A. A. et al. A proposal for integration of the ecosystem-water-food-land-energy (EWFLE) nexus concept into life cycle assessment: A synthesis matrix system for food security. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3874–3889, 20 jan. 2018.
- KIMMICH, C. et al. Participatory Modeling Updates Expectations for Individuals and Groups, Catalyzing Behavior Change and Collective Action in Water-Energy-Food Nexus Governance. **Earth's Future**, v. 7, n. 12, p. 1337–1352, 1 dez. 2019.
- KING, C.; JAAFAR, H. Rapid assessment of the water–energy–food–climate nexus in six selected basins of North Africa and West Asia undergoing transitions and scarcity threats. **International Journal of Water Resources Development**, v. 31, n. 3, p. 343–359, 3 jul. 2015.
- KLING, C. L. et al. Integrated Assessment Models of the Food, Energy, and Water Nexus: A Review and an Outline of Research Needs. **Annual Review of Resource Economics**, v. 9, n. 1, p. 143–163, 5 out. 2017.
- KURIAN, M. The water-energy-food nexus. **Environmental Science & Policy**, v. 68, p. 97–106, 1 fev. 2017.
- LASPIDOU, C. S. et al. Systems thinking on the resource nexus: Modeling and visualisation tools to identify critical interlinkages for resilient and sustainable societies and institutions. **Science of The Total Environment**, v. 717, p. 137264, 15 maio 2020.
- LAURETT, R.; PAÇO, A.; MAINARDES, E. W. Sustainable Development in Agriculture and its Antecedents, Barriers and Consequences – An Exploratory Study. **Sustainable Production and Consumption**, v. 27, p. 298–311, 1 jul. 2021.
- LAZARO, L. L. B. et al. Policy and governance dynamics in the water-energy-food-land nexus

of biofuels: Proposing a qualitative analysis model. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 149, p. 111384, 1 out. 2021.

LEITE, A. E. et al. Agricultural production and sustainable development in a Brazilian region (Southwest, São Paulo State): motivations and barriers to adopting sustainable and ecologically friendly practices. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 21, n. 5, p. 422–429, 3 set. 2014.

LI, M. et al. An optimal modelling approach for managing agricultural water-energy-food nexus under uncertainty. **Science of The Total Environment**, v. 651, n. Pt 1, p. 1416–1434, 15 fev. 2019a.

LI, M. et al. Stochastic multi-objective modeling for optimization of water-food-energy nexus of irrigated agriculture. **Advances in Water Resources**, v. 127, p. 209–224, 1 maio 2019b.

LI, M. et al. Optimization of agricultural water–food–energy nexus in a random environment: an integrated modelling approach. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 35, n. 1, p. 3–19, 6 jan. 2021a.

LI, S. et al. Developing an integrated technology-environment-economics model to simulate food-energy-water systems in Corn Belt watersheds. **Environmental Modelling & Software**, v. 143, p. 105083, 1 set. 2021b.

LI, X. et al. Evaluating the Collaborative Security of Water–Energy–Food in China on the Basis of Symbiotic System Theory. **Water**, v. 13, n. 8, p. 1112, 17 abr. 2021c.

LIN, H. et al. Life cycle assessment of a biogas system for cassava processing in Brazil to close the loop in the water-waste-energy-food nexus. **Journal of Cleaner Production**, v. 299, p. 126861, 25 maio 2021.

LIN, Y.-C. et al. Comprehensive assessment of regional food-energy-water nexus with GIS-based tool. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 151, p. 104457, 1 dez. 2019.

LIU, C. et al. Evaluating Agricultural Sustainability Based on the Water–Energy–Food Nexus in the Chenmengquan Irrigation District of China. **Sustainability**, v. 11, n. 19, p. 5350, 27 set. 2019.

LIU, J. et al. Challenges in operationalizing the water–energy–food nexus. **Hydrological Sciences Journal**, v. 62, n. 11, p. 1714–1720, 18 ago. 2017.

LIU, J. et al. Nexus approaches to global sustainable development. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 9, p. 466–476, 14 set. 2018.

LIU, Y. et al. A quantitative analysis framework for water-food-energy nexus in an agricultural watershed using WEAP-MODFLOW. **Sustainable Production and Consumption**, v. 31, p. 693–706, 1 maio 2022.

- LÓPEZ-RIDAURA, S.; MASERA, O. R.; ASTIER, M. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. **Ecological Indicators**, v. 2, p. 135–148, 2002.
- MA, Y. et al. Mathematical modeling for planning water-food-ecology-energy nexus system under uncertainty: A case study of the Aral Sea Basin. **Journal of Cleaner Production**, v. 308, p. 127368, 25 jul. 2021.
- MANNAN, M. et al. Quantifying the energy, water and food nexus: A review of the latest developments based on life-cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 193, p. 300–314, 20 ago. 2018.
- MÄRKER, C.; VENGHAUS, S.; HAKE, J. F. Integrated governance for the food–energy–water nexus – The scope of action for institutional change. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 97, p. 290–300, 1 dez. 2018.
- MARSHALL, C.; ROSSMAN, G. B. **Designing Qualitative Research**. Sage Publi ed. London: Sage Publications, 1995.
- MASERA, O.; ASTIER, M.; LÓPEZ, S. **Sustentabilidad y manejo de recursos naturales** Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada A.C., 2000. Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/299870632_Sustentabilidad_y_manejo_de_recursos_naturales_El_Marco_de_evaluacion_MESMIS#:~:text=El Marco para la Evaluación,y en el ámbito local%2C>
- MCCARL, B. A. et al. Model Use in WEF Nexus Analysis: a Review of Issues. **Current Sustainable/Renewable Energy Reports**, v. 4, n. 3, p. 144–152, 10 set. 2017.
- MIRALLES-WILHELM, F. Development and application of integrative modeling tools in support of food-energy-water nexus planning—a research agenda. **Journal of Environmental Studies and Sciences**, v. 6, n. 1, p. 3–10, mar. 2016.
- NAHIDUL KARIM, M.; DAHER, B. Evaluating the Potential of a Water-Energy-Food Nexus Approach toward the Sustainable Development of Bangladesh. **Water**, v. 13, n. 3, p. 366, 31 jan. 2021.
- NGAMMUANGTUENG, P.; JAKRAWATANA, N.; GHEEWALA, S. H. Nexus Resources Efficiency Assessment and Management towards Transition to Sustainable Bioeconomy in Thailand. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 160, p. 104945, 1 set. 2020.
- NHAMO, L. et al. An integrative analytical model for the water-energy-food nexus: South Africa case study. **Environmental Science & Policy**, v. 109, p. 15–24, 1 jul. 2020.
- NOTARNICOLA, B. et al. The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food

- systems: A review of the challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 399–409, 1 jan. 2017.
- PAHL-WOSTL, C. Governance of the water-energy-food security nexus: A multi-level coordination challenge. **Environmental Science and Policy**, v. 92, p. 356–367, 1 fev. 2019.
- PANDEY, V. P.; SHRESTHA, S. **Evolution of the nexus as a policy and development discourse**. Water-Ener ed. Washington: John Wiley and Sons, Inc, 2017.
- PITTOCK, J.; DUMARESQ, D.; BASSI, A. Modeling the Hydropower–Food Nexus in Large River Basins: A Mekong Case Study. **Water**, v. 8, n. 10, p. 425, 28 set. 2016.
- POVEDA, K.; GÓMEZ, M. I.; MARTÍNEZ, E. Diversification practices: their effect on pest regulation and production. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 34, n. 2, p. 131–144, 31 dez. 2008.
- PROCTOR, K.; TABATABAIE, S. M. H.; MURTHY, G. S. Gateway to the perspectives of the Food-Energy-Water nexus. **Science of The Total Environment**, v. 764, p. 142852, 10 abr. 2021.
- PURWANTO, A. et al. Water-energy-food nexus: Critical review, practical applications, and prospects for future research. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 4, p. 1–18, 2 fev. 2021.
- QIAN, X.-Y.; LIANG, Q.-M. Sustainability evaluation of the provincial water-energy-food nexus in China: Evolutions, obstacles, and response strategies. **Sustainable Cities and Society**, v. 75, p. 103332, 1 dez. 2021.
- RAMIREZ, C.; ALMULLA, Y.; FUSO NERINI, F. Reusing wastewater for agricultural irrigation: a water-energy-food Nexus assessment in the North Western Sahara Aquifer System. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 4, p. 044052, 1 abr. 2021.
- RASUL, G.; SHARMA, B. The nexus approach to water–energy–food security: an option for adaptation to climate change. **Climate Policy**, v. 16, n. 6, p. 682–702, 17 ago. 2016.
- RAVAR, Z. et al. System dynamics modeling for assessment of water–food–energy resources security and nexus in Gavkhuni basin in Iran. **Ecological Indicators**, v. 108, p. 105682, 1 jan. 2020.
- ROIBÁS, L.; ELBEHRI, A.; HOSPIDO, A. Evaluating the sustainability of Ecuadorian bananas: Carbon footprint, water usage and wealth distribution along the supply chain. **Sustainable Production and Consumption**, v. 2, p. 3–16, 1 abr. 2015.
- ROSALES-ASENSIO, E. et al. Decision-making tools for sustainable planning and conceptual framework for the energy–water–food nexus. **Energy Reports**, v. 6, p. 4–15, 1 nov. 2020.
- SALADINI, F. et al. Linking the water-energy-food nexus and sustainable development indicators for the Mediterranean region. **Ecological Indicators**, v. 91, p. 689–697, 1 ago. 2018.

- SÁNCHEZ-ZARCO, X. G. et al. Water, energy, and food security assessment in regions with semiarid climates. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 22, n. 10, p. 2145–2161, 24 dez. 2020.
- SARKODIE, S. A.; OWUSU, P. A. Bibliometric analysis of water–energy–food nexus: Sustainability assessment of renewable energy. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 13, p. 29–34, 1 fev. 2020.
- SCANLON, B. R. et al. The food-energy-water nexus: Transforming science for society. **Water Resources Research**, v. 53, n. 5, p. 3550–3556, 1 maio 2017.
- SEPÚLVEDA, S. et al. **Biograma: metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios**. [s.l: s.n.].
- SERRANO-TOVAR, T. et al. Structuring an integrated water-energy-food nexus assessment of a local wind energy desalination system for irrigation. **Science of The Total Environment**, v. 689, p. 945–957, 1 nov. 2019.
- SHANNAK, S.; MABREY, D.; VITTORIO, M. Moving from theory to practice in the water–energy–food nexus: An evaluation of existing models and frameworks. **Water-Energy Nexus**, v. 1, n. 1, p. 17–25, 1 jun. 2018.
- SILVEIRA, V. C. P. **OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO PECUÁRIOS NA BACIA DO RIO IBIRAPUITÃ E SUAS RELAÇÕES COM ÁGUA E A ENERGIA NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS – NEXUS PAMPA**. [s.l.] EDITORA CRV, 2022.
- SIMPSON, G. B.; JEWITT, G. P. W. The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review. **Frontiers in Environmental Science**, v. 7, n. FEB, 8 fev. 2019.
- SMAJGL, A.; WARD, J.; PLUSCHKE, L. The water–food–energy Nexus – Realising a new paradigm. **Journal of Hydrology**, v. 533, p. 533–540, 1 fev. 2016.
- SMITH, G. et al. Trade-offs across the water-energy-food nexus: A triple bottom line sustainability assessment of desalination for agriculture in the San quintín Valley, Mexico. **Environmental Science & Policy**, v. 114, p. 445–452, 1 dez. 2020.
- SNYDER, H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 104, p. 333–339, 1 nov. 2019.
- SOARES, H. M. DE; SILVA, T. N. DA. FEW Nexus (nexo alimento-energia-água) na agricultura familiar: um estudo de caso na RedeCoop/RS. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 61, n. 4, 7 nov. 2022.
- SOBROSA NETO, R. DE C. et al. An integrative approach for the water-energy-food nexus in beef cattle production: A simulation of the proposed model to Brazil. **Journal of Cleaner**

Production, v. 204, p. 1108–1123, 10 dez. 2018.

STONE, T. F. et al. A Life Cycle Assessment Approach for Vegetables in Large-, Mid-, and Small-Scale Food Systems in the Midwest US. **Sustainability**, v. 13, n. 20, p. 11368, 14 out. 2021.

SUN, J. et al. Development of an uncertain water-food-energy nexus model for pursuing sustainable agricultural and electric productions. **Agricultural Water Management**, v. 241, p. 106384, 1 nov. 2020.

SUŠNIK, J. et al. Integrated System Dynamics Modelling for water scarcity assessment: Case study of the Kairouan region. **Science of The Total Environment**, v. 440, p. 290–306, 1 dez. 2012.

TABATABAIE, S. M. H.; MURTHY, G. S. Development of an input-output model for food-energy-water nexus in the pacific northwest, USA. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 168, p. 105267, 1 maio 2021.

TAGUTA, C. et al. Water-Energy-Food Nexus Tools in Theory and Practice: A Systematic Review. **Frontiers in Water**, v. 4, p. 40, 25 mar. 2022.

THOMPSON, J. et al. Iowa Urban FEWS: Integrating Social and Biophysical Models for Exploration of Urban Food, Energy, and Water Systems. **Frontiers in Big Data**, v. 4, p. 26, 5 maio 2021.

TIAN, H. et al. Optimizing resource use efficiencies in the food–energy–water nexus for sustainable agriculture: from conceptual model to decision support system. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 33, p. 104–113, 1 ago. 2018.

TOBOSO-CHAVERO, S. et al. Incorporating user preferences in rooftop food-energy-water production through integrated sustainability assessment *. **Environmental Research Communications**, v. 3, n. 6, p. 065001, 1 jun. 2021.

TOBOSO-CHAVERO, S. et al. Towards Productive Cities: Environmental Assessment of the Food-Energy-Water Nexus of the Urban Roof Mosaic. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 4, p. 767–780, 26 ago. 2019.

TODOROVIC, V. et al. Solutions for More Sustainable Distribution in the Short Food Supply Chains. **Sustainability 2018, Vol. 10, Page 3481**, v. 10, n. 10, p. 3481, 28 set. 2018.

TOLEDO, C.; SCOGNAMIGLIO, A. Agrivoltaic Systems Design and Assessment: A Critical Review, and a Descriptive Model towards a Sustainable Landscape Vision (Three-Dimensional Agrivoltaic Patterns). **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6871, 17 jun. 2021.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal**

of Management, v. 14, n. 3, p. 207–222, set. 2003.

VENGHAUS, S.; DIEKEN, S. From a few security indices to the FEW Security Index: Consistency in global food, energy and water security assessment. **Sustainable Production and Consumption**, v. 20, p. 342–355, 1 out. 2019.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195–219, 1 fev. 2002.

WANG, X. C. et al. Extended water-energy nexus contribution to environmentally-related sustainable development goals. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 150, 1 out. 2021.

WICAKSONO, A.; JEONG, G.; KANG, D. Water, energy, and food nexus: review of global implementation and simulation model development. **Water Policy**, v. 19, n. 3, p. 440–462, 1 jun. 2017.

WICHELS, D. The water-energy-food nexus: Is the increasing attention warranted, from either a research or policy perspective? **Environmental Science & Policy**, v. 69, p. 113–123, 1 mar. 2017.

WIEGLEB, V.; BRUNS, A. What is driving the water-energy-food nexus? Discourses, knowledge, and politics of an emerging resource governance concept. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, n. OCT, p. 128, 30 out. 2018.

WOLDE, Z. et al. Indicators of Land, Water, Energy and Food (LWEF) Nexus Resource Drivers: A Perspective on Environmental Degradation in the Gidabo Watershed, Southern Ethiopia. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 10, p. 5181, 13 maio 2021.

YANG, Y. C. E. et al. Modeling the Agricultural Water–Energy–Food Nexus in the Indus River Basin, Pakistan. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 142, n. 12, p. 04016062, 22 dez. 2016.

YI, J. et al. Sustainability assessment of the water-energy-food nexus in Jiangsu Province, China. **Habitat International**, v. 95, p. 102094, 1 jan. 2020.

YIN, R. K. **Case Study Research and Applications: Design and Methods**. 6. ed. Los Angeles: Sage Publications, Inc, 2018.

YUAN, K.-Y. et al. Spatial optimization of the food, energy, and water nexus: A life cycle assessment-based approach. **Energy Policy**, v. 119, p. 502–514, 1 ago. 2018.

YUE, Q. et al. Fuzzy multi-objective modelling for managing water-food-energy-climate change-land nexus towards sustainability. **Journal of Hydrology**, v. 596, p. 125704, 1 maio

2021.

ZHANG, C. et al. Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 625–639, 10 set. 2018.

ZHANG, P. et al. Structure Dynamics and Risk Assessment of Water-Energy-Food Nexus: A Water Footprint Approach. **Sustainability**, v. 11, n. 4, p. 1187, 23 fev. 2019a.

ZHANG, P. et al. Food-energy-water (FEW) nexus for urban sustainability: A comprehensive review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 142, p. 215–224, 1 mar. 2019b.

ZHANG, X.; VESSELINOV, V. V. Integrated modeling approach for optimal management of water, energy and food security nexus. **Advances in Water Resources**, v. 101, p. 1–10, 1 mar. 2017.

ZHENG, J. et al. Exploring the water–energy–food nexus from a perspective of agricultural production efficiency using a three-stage data envelopment analysis modelling evaluation method: a case study of the middle and lower reaches of the Yangtze River, China. **Water Policy**, v. 21, n. 1, p. 49–72, 1 fev. 2019.

APÊNDICE A: PROTOCOLO DO ESTUDO DE CASO

ABORDAGEM WATER-ENERGY-FOOD NEXUS PARA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE NA AGRICULTURA: ESTUDO DE CASOS EM PROPRIEDADES AGROECOLÓGICAS NO BRASIL

Pergunta de pesquisa: “Como avaliar as interações water-energy-food (WEF) Nexus no contexto da agricultura familiar, considerando a integração de abordagens sistêmica e participativa?”

Objetivo da pesquisa:

- (O1) Propor a ferramenta MESMIS-NEXUS, adaptando o método participativo MESMIS para avaliar as interações sistêmicas do WEF Nexus em propriedades agrícolas;
- (O2): Aplicar a ferramenta proposta em propriedades de agricultura familiar por meio de estudos de caso;
- (O3): Identificar desafios e oportunidades de melhoria para as propriedades de agricultura familiar com aplicação da ferramenta MESMIS-NEXUS.

Fatores de Análise: Os fatores que serão analisados são: atributos *water-energy-food-labor-capital-livelihoods-land nexus*, *inputs* e *outputs* dos subsistemas *nexus*, processos-chave, pontos críticos, e a percepção das interações com base no mapeamento do sistema e os indicadores de avaliação.

Ambiente de estudo: O estudo de caso dessa pesquisa será conduzido em uma propriedade localizada na Paraíba (Caso Piloto) e sete propriedades localizadas no Piauí, todas propriedades familiares rurais.

Preparação do pesquisador: Ter domínio do conteúdo a ser utilizado durante a pesquisa. Estabelecer contato com agricultores familiares, agendar as entrevistas presenciais. Elaborar um roteiro para as entrevistas semiestruturadas. Dispor de gravador e blocos de anotações, materiais necessários durante a entrevista;

Procedimentos para coleta de dados: Realizar as entrevistas presenciais, previamente marcadas, com sujeitos participantes da pesquisa. Realizar observação não participante;

Procedimentos para análise dos dados: Transcrição integral das entrevistas gravadas. Análise de conteúdo das informações contidas nas respostas.

APÊNDICE B: ROTEIRO DE ENTREVISTA

Seção 1 - Descrição da propriedade e do entrevistado (tratando do PASSO 1 – DETERMINAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO);

1. Nome do respondente:
2. Localidade:
3. Principais espécies cultivadas:
4. Sistema de Produção: () Cultivo anual em rotação () Policultivo () Outros
5. Tecnologia empregada: () Manual () Mecanizada () Tração animal () Mista
6. Mão-de-obra empregada: () Predominantemente familiar () Terceirizada () Ambos
7. Manejo do solo:
 - Fertilização: () Adubo químico () Matéria orgânica () Misto
 - Prática de conservação: () Terraços () Cultivo de cobertura () Rotação
- () Biofertilizante () Compostagem
- Manejo de praga/Doença: () Manejo integral de pragas () Uso de herbicidas
- () Controle biológico () Outros
8. Espécies da pecuária:
9. Características dos produtores:
 - Tamanho da unidade produtiva (ha):
 - Tipo de unidade: () Familiar () Empresarial () Mista
10. Objetivo da produção: () Subsistência () Ingressos monetários () Ambos
11. Características da organização para produção: () Comunitária () ONG () União de crédito () Cooperativa () Não cooperado

Seção 2 - Mapeamento de inputs e outputs dos subsistemas e processos-chave WEF-L-C-LIV-LAN Nexus da propriedade (tratando do PASSO 2 – DETERMINAÇÃO DOS PROCESSOS-CHAVE DO SISTEMA e PASSO 3 – MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA);

WATER SYSTEM

1. De onde você obtém a água para consumo em sua propriedade? Você utiliza outras fontes para obtenção de água?
2. Você utiliza bomba para fazer o bombeamento de água? Há consumo de energia?
3. Em quais atividades principais você consome água?
4. Você possui alguma tecnologia social de apoio à obtenção de água potável?
5. Há alguma dificuldade na obtenção de água? Qual (is)?

FOODSYSTEM

6. O que você produz em sua propriedade?
7. Você vende o que produz? Se sim, quais produtos você vende? Em quais locais e para quem?
8. O que você produz, você consome? Se sim, quais produtos você consome daquilo que produz?
9. Em quais atividades de produção você consome água?
10. Em quais atividades de produção você consome energia?
11. Há alguma dificuldade na produção de alimentos? Qual (is)?

ENERGY SYSTEM

12. Você consome energia da distribuidora de energia? Em quais atividades?
13. Você utiliza outras fontes para geração de energia? Por exemplo, lenha, biodigestor, pellets

14. Você utiliza gás de cozinha? Como você obtém esse gás de cozinha?
15. Você possui alguma tecnologia social de apoio à geração de energia?
16. Há alguma dificuldade na obtenção de energia? Qual (is)?

MARKETS AND OTHER SYSTEM

17. Você tem relação com outros produtores/mercado? Como se dá essa relação?
18. Você utiliza mão de obra familiar e externa? Em quais atividades você as utiliza?
19. Em quais atividades você tem custos/despesas?

LAND/SOIL

20. Qual o destino da maior parte do lixo doméstico? E dos resíduos das atividades de produção?
21. Você realiza o aproveitamento de resíduos das atividades de produção?
22. Como você realiza o manejo do solo da propriedade? Utiliza matéria orgânica? Quais as fontes de obtenção?

O que além desses pontos críticos já mencionados, é dificuldade? Por exemplo, que não vai bem na propriedade?

Seção 3 - Indicadores WEF-L-C-LIV-LAN Nexus e percepção do impacto de sustentabilidade para o agricultor (a) (tratando do PASSO 4 – SELEÇÃO DE INDICADORES DAS INTERAÇÕES WEF-L-C-LIV-LAN NEXUS e PASSO 5 – PERCEPÇÃO E MONITORAMENTO);

Os entrevistados são questionados sobre a percepção de cada indicador, seguida de uma breve justificativa para a escolha.

Interação		Indicador	Escala		
Água	Água	Estrutura de armazenamento de água	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes
Água	Água	Estrutura captação água da chuva	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes
Água	Alimento	Disponibilidade de água para irrigação	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes
Água	Alimento	Disponibilidade de água para o cultivo	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes
Água	Alimento	Disponibilidade de água para criação animal	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes
Água	Alimento	Disponibilidade de água para preparo de alimento (mandioca, pães, bolos)	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes
Água	Livelihoods	Disponibilidade de água para consumo familiar	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes
Energia	Água	Disponibilidade de energia para obtenção de água	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes
Energia	Alimento	Disponibilidade de energia elétrica para agricultura	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes
Energia	Capital	Utiliza lenha para vender e gerar renda extra	nunca	raramente	às vezes
					sempre

Interação		Indicador	Escala			
Energia	Livelihoods	Disponibilidade de energia elétrica para consumo familiar	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
Energia	Livelihoods	Disponibilidade de lenha para consumo familiar	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
Energia	Livelihoods	Disponibilidade de biogás para consumo familiar	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
Energia	Livelihoods	Disponibilidade de gás de cozinha para consumo familiar	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
Alimento	Energia	Realiza aproveitamento de resíduos da agricultura para geração de energia?	nunca	raramente	às vezes	sempre
Alimento	Alimento	Utiliza insumos internos para produção de alimentos?	nunca	raramente	às vezes	sempre
Alimento	Alimento	Nível de diversidade de espécies da agricultura (feijão, arroz, milho, bovino, suíno, caprino, aves...)	sem diversidade	baixo	intermediário	alto
Alimento	Capital	Nível de produtividade (quantidade produzida em relação à área plantada)	sem produtividade	baixo	intermediário	alto
Alimento	Capital	Contabiliza e controla custos (fixo e variável) da produção?	nunca	raramente	às vezes	sempre
Alimento	Capital	Lucratividade dos principais cultivos	sem lucratividade	abaixo da média comercial	aceitável/igual à média comercial	melhor que a média comercial
Alimento	Capital	Nível de endividamento	alto	médio	baixo	sem dívidas
Alimento	Capital	Gerencia o preço de venda dos produtos	nunca	raramente	às vezes	sempre
Alimento	Land	Realiza aproveitamento de resíduos da agricultura para manejo do solo	nunca	raramente	às vezes	sempre

Interação		Indicador	Escala			
Alimento	Livelihoods	Disponibilidade de alimentos (qtd, qualidade, variedade) para consumo familiar	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
Capital	Água	Possui custo com água potável	sempre	às vezes	raramente	nunca
Capital	Energia	Custo mensal com consumo de energia elétrica	sempre	às vezes	raramente	nunca
Capital	Energia	Custo mensal com consumo de gás de cozinha	sempre	às vezes	raramente	nunca
Capital	Energia	Custo mensal com consumo de outras fontes (álcool, diesel, gasolina)	sempre	às vezes	raramente	nunca
Capital	Alimento	Custo mensal com insumos externos para agricultura	sempre	às vezes	raramente	nunca
Capital	Labor	Custo mensal com mão-de-obra	sempre	às vezes	raramente	nunca
Capital	Land	Custo mensal com manejo do solo	sempre	às vezes	raramente	nunca
Capital	Land	Disponibilidade de recursos financeiros para investimento	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
Capital	Livelihoods	Disponibilidade de recurso financeiro para compras para a família	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
Labor	Água	Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de água.	sempre	às vezes	raramente	nunca
Labor	Energia	Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de energia?	sempre	às vezes	raramente	nunca
Labor	Alimento	Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de alimento?	sempre	às vezes	raramente	nunca
Labor	Capital	Fornecer mão-de-obra fora da propriedade?	sempre	às vezes	raramente	nunca
Labor	Labor	Apoio obtido por fazer parte de uma associação cooperativa	não faz parte	inadequado	poderia ser melhor	adequado

Interação		Indicador	Escala			
Labor	Labor	Acesso à cursos profissionalizantes e suporte técnico	nunca	raramente	às vezes	sempre
Labor	Land	Necessidade de mão de obra terceirizada/extra para disponibilidade de terra?	sempre	às vezes	raramente	nunca
Land	Alimento	Rendimento de culturas básicas	Sem rendimento	Insuficiente	regular	suficiente
Land	Capital	Realiza arrendamentos/consórcios com outros agricultores	sempre	às vezes	raramente	nunca
Land	Land	Realiza ações de conservação da terra	nunca	raramente	às vezes	sempre
Land	Livelihoods	Disponibilidade de terra para garantir a autosuficiência familiar	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
Livelihoods	Labor	Disponibilidade de mão de obra familiar para as atividades da propriedade	inadequado	precisa de grandes melhorias	precisa de pequenos ajustes	adequado
Livelihoods	Land	Destino da maior parte resíduo doméstico	queima	enterra	coleta	compostagem/reciclagem
Livelihoods	Livelihoods	Envolvimento de mulheres nas decisões	nunca	raramente	às vezes	sempre

Seção 4 – Apresentação dos resultados – Mapeamentos dos fluxos do sistema e Matriz de integração dos Índices Nexus Agregado (tratando do PASSO 6)

Agradecimento pela participação. Diante dos resultados os entrevistados são questionados se gostariam de fazer mais comentários gerais quanto às dificuldades enfrentadas, processos-chave, indicadores, desenho dos fluxos, e sugestões de melhoria da aplicação da ferramenta.

APÊNDICE C: MAPEAMENTO DE BIOSISTEMAS E INFORMAÇÕES SOBRE CASO PILOTO

O mapeamento dos biosistemas para cada propriedade é apresentado a seguir.

Figura 14 - Biosistema Caso A e F (casos similares)

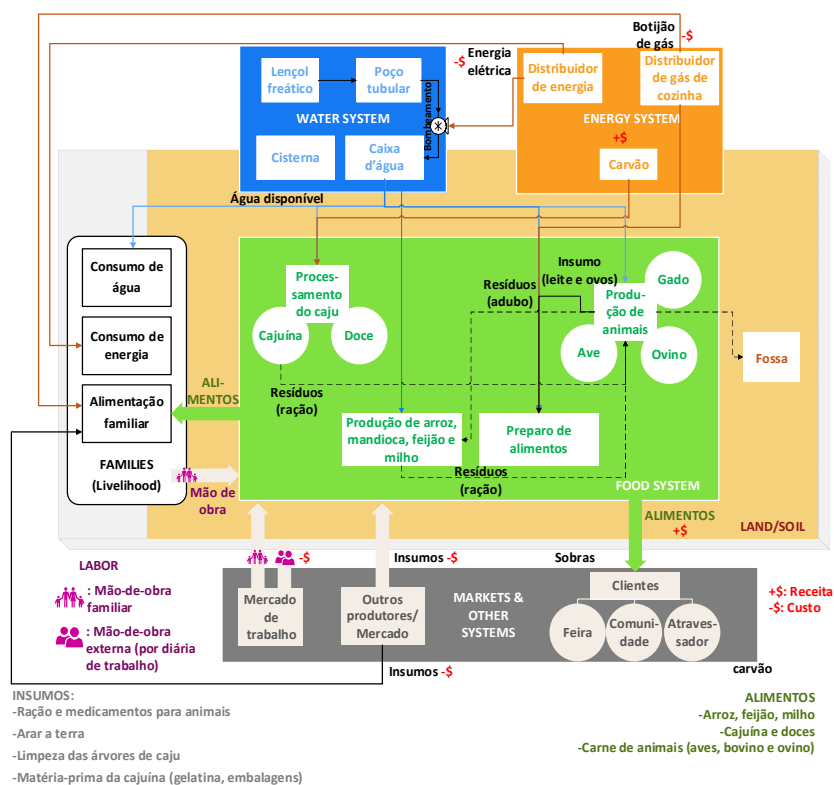


Figura 15 - Biosistema Caso B

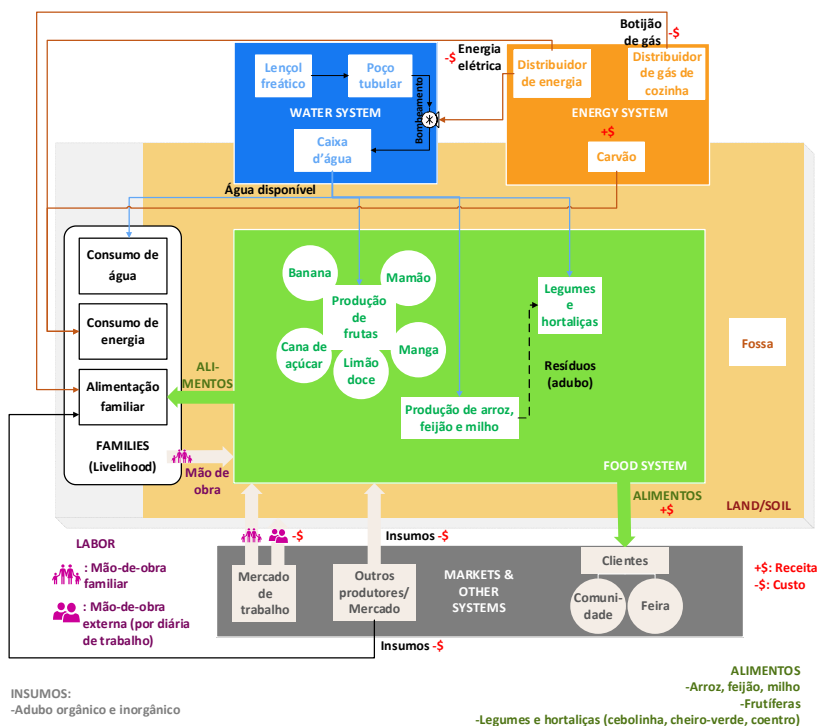


Figura 16 - Biosistema Caso C

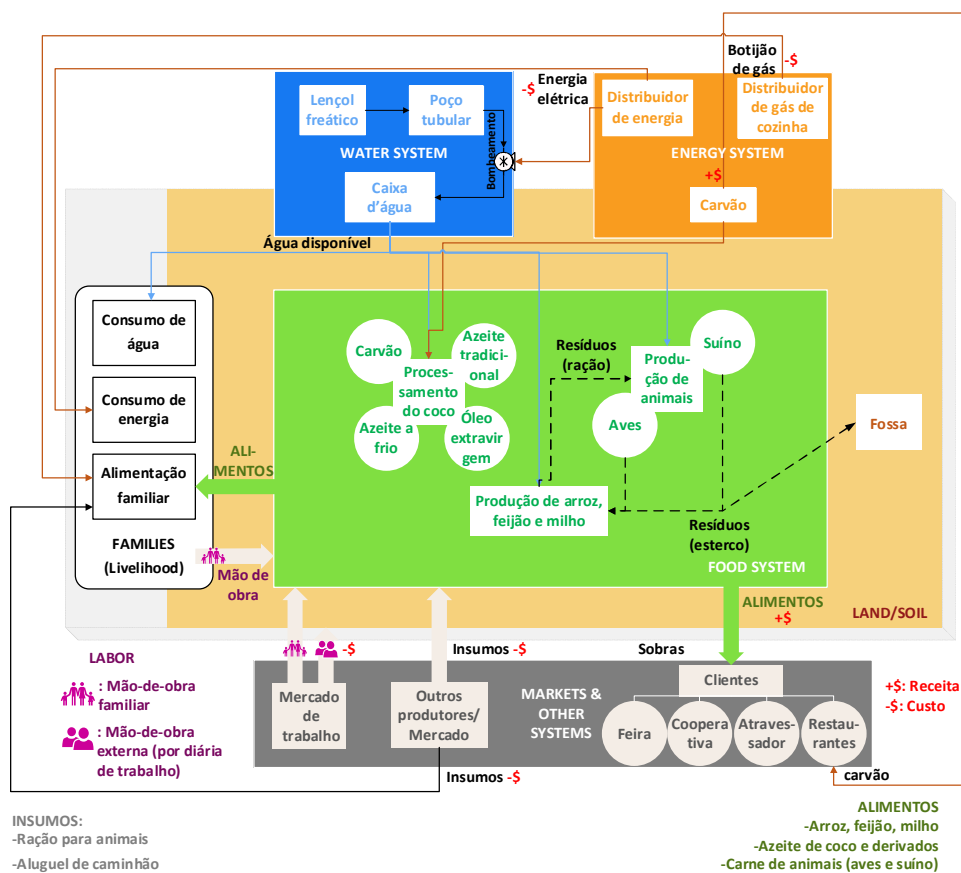


Figura 17 - Biosistema Caso D

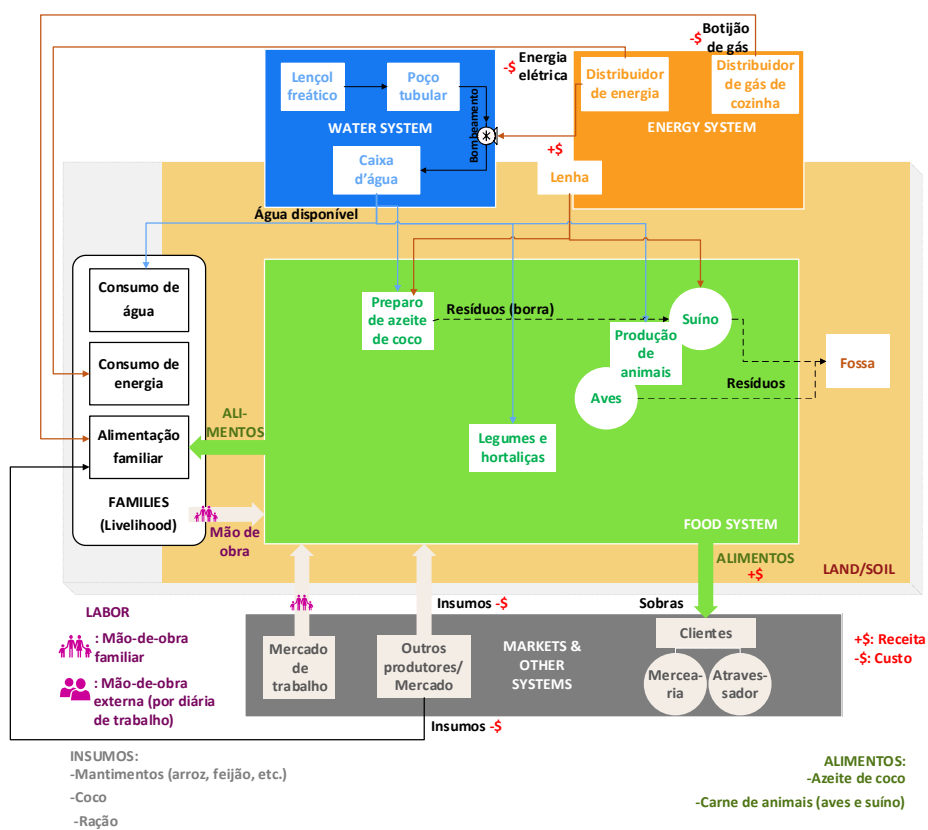


Figura 18 - Biosistema Caso F

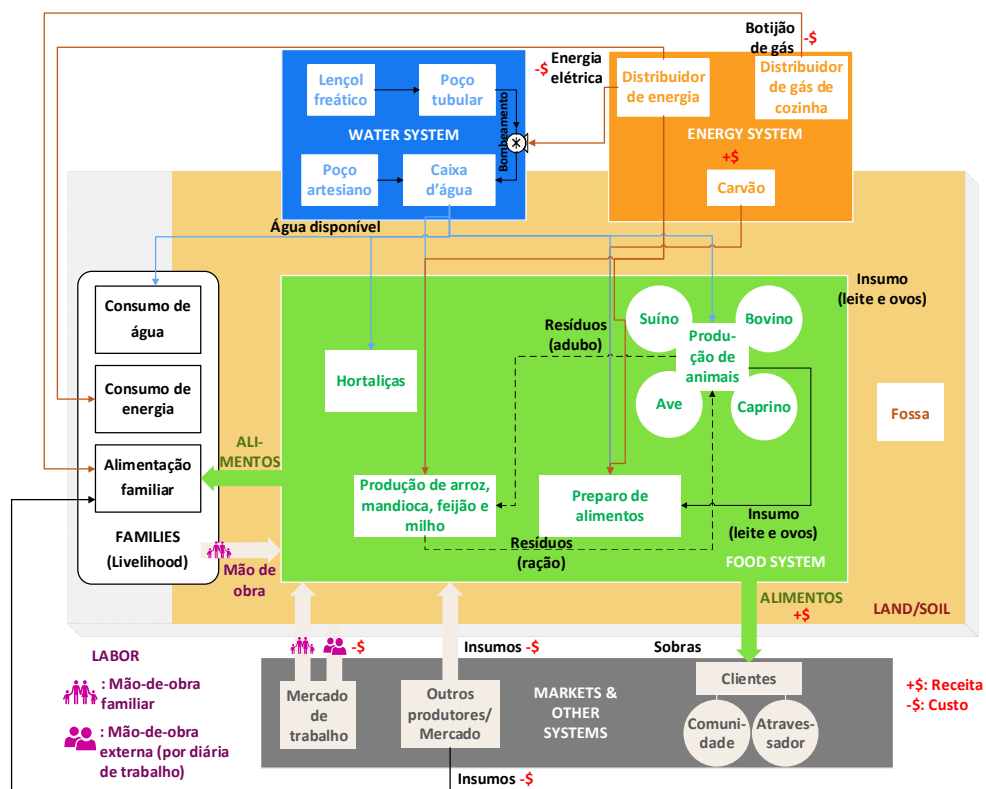
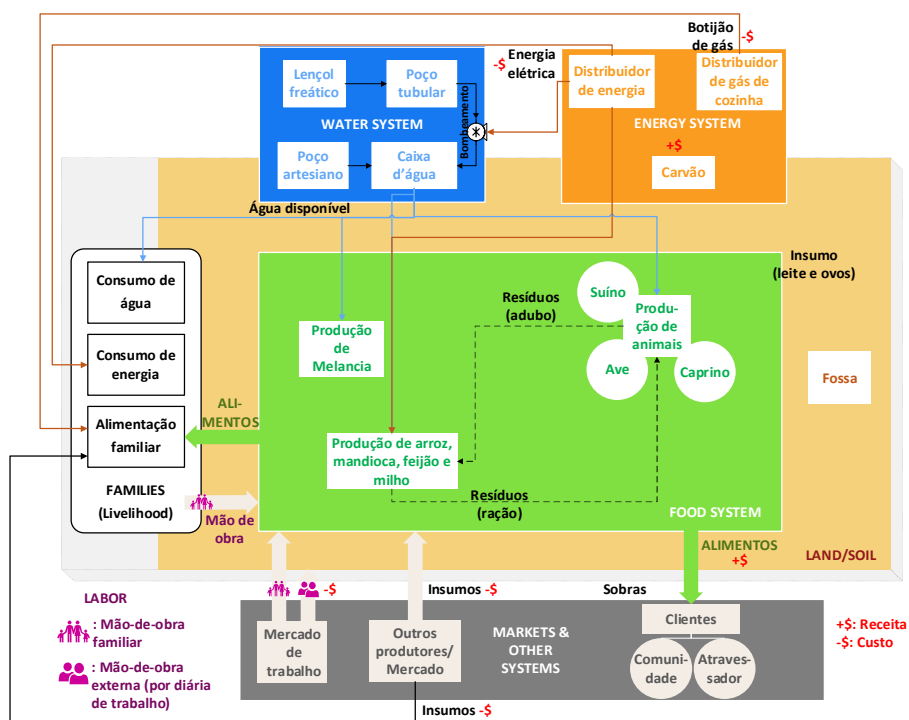


Figura 19 - Biosistema Caso G



INSUMOS:

-Ração para animais

-Insumos externos (herbicida, adubo químico)

- Resultados do estudo de caso piloto

Figura 20 - Biosistema Caso Piloto

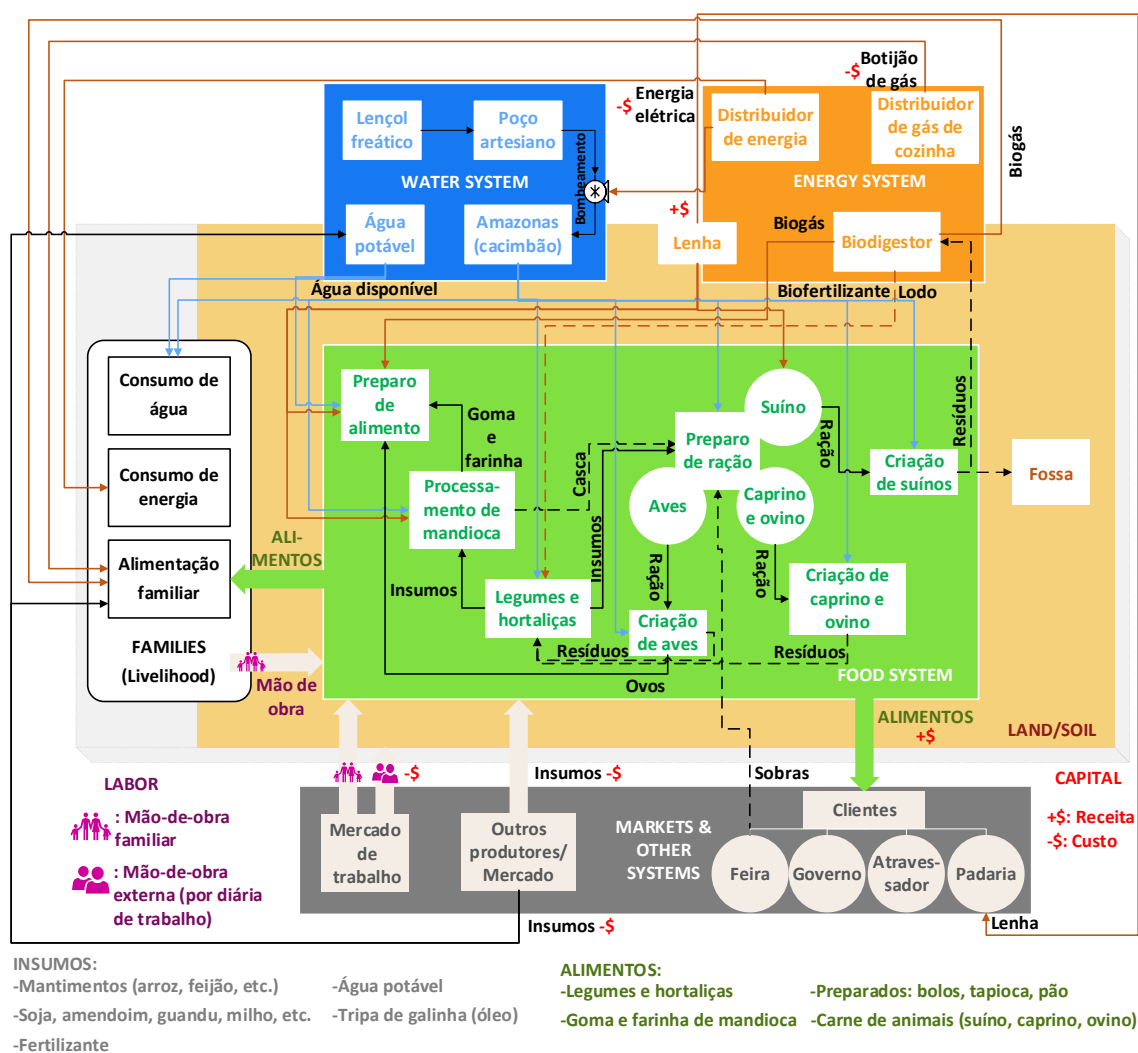


Figura 21 - Média dos indicadores de avaliação do WEF Nexus para Caso Piloto

Caso PILOTO	2ª							
	W	E	F	Cap	L	Lan	Liv	INA
1ª W	2,5	N/D	3,5	N/D	N/D	N/D	4	INAW=3,33
E	1	N/D	1	3	N/D	N/D	3	INAE=2
F	N/D	3	3	1,8	N/D	4	4	INAF=3,16
Cap	1	1,3	2	N/D	3	1	1	INACap=1,55
Lab	3	3	2	4	3	1	N/D	INALab=2,67
Lan	N/D	N/D	2	2	N/D	4	3	INALan=2,75
Liv	N/D	N/D	N/D	N/D	1	3	3	INALiv=2,33