

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**CLAUDIO TONY CORDOBA CORREOSO**

**SUSTENTABILIDADE DE PROPRIEDADES EM AGRICULTURA FAMILIAR E**  
**CONTRIBUIÇÃO DA HOMEOPATIA**

**LAGES**

**2022**

**CLAUDIO TONY CORDOBA CORREOSO**

**SUSTENTABILIDADE DE PROPRIEDADES EM AGRICULTURA FAMILIAR E  
CONTRIBUIÇÃO DA HOMEOPATIA**

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, área de concentração Produção Vegetal.  
Orientador: Dr. Pedro Boff  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Mari Inês Carissimi Boff.

**LAGES**

**2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Cordoba Correoso, Claudio Tony

Sustentabilidade de propriedades em agricultura familiar e  
contribuição da homeopatia / Claudio Tony Cordoba  
Correoso. -- 2022.

144 p.

Orientador: Pedro Boff

Coorientadora: Mari Ines Carissimi Boff

Tese (doutorado) -- Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages, 2022.

1. Agrossistemas. 2. Preparados homeopáticos. 3.  
Indicadores. 4. Energia. I. Boff, Pedro . II. Carissimi Boff, Mari  
Ines. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro  
de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação  
em Produção Vegetal. IV. Título.

**CLAUDIO TONY CORDOBA CORREOSO**

**SUSTENTABILIDADE DE PROPRIEDADES EM AGRICULTURA FAMILIAR E  
CONTRIBUIÇÃO DA HOMEOPATIA**

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal, área de concentração Produção Vegetal.

**BANCA EXAMINADORA:**

Orientador:

---

Dr. Pedro Boff  
EPAGRI-Lages e PPGPV-UDESC

Membros:

---

Dr. Fabricio Rossi  
Univ. São Paulo (USP)

---

Dr. Julio Santamaria Guerra  
Inst. de Innovación Agropec. de Panamá (IDIAP)

---

Dr. Feni Agostinho  
Universidade Paulista (UNIP)

---

Dr. James Rodrigo Smaniotto  
EPAGRI-Lages

**Lages, 05 julho de 2022.**

**Dedico este trabalho aos meus amados  
pais, minha esposa e filhos**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, pela vida, força e proteção.

Aos meus pais Eriberto Cordoba e Balbina Correoso que tem sido minha inspiração ao longo da minha formação acadêmica. Também a minha esposa Eira Baúles minha filha Yisleidy Córdoba e a meu filho Josué Cordoba por me acompanhar em meus estudos.

Aos meus orientadores Dr. Pedro Boff e Dra. Mari Boff pelos ensinamentos que recibi durante este tempo e sobretudo pela amizade. A orientação foi não só para o meu bem-estar acadêmico, mas também a nível pessoal e familiar.

Ao Dr. Julio Santamaria por sempre me incentivar a fazer meu doutorado.

Ao professor Feni Agostinho por me apresentar a Sintese em Emergia e pela disponibilidade em me ajudar na realização deste trabalho, conceituando o tema da sustentabilidade.

Um agradecimento à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, Lages (Epagri-Lages) que através do Dr. James Rodrigo Smaniottoa possibilitou ter acesso e selecionar as propriedades dos agricultores familiares.

Agradeço ao Instituto de Inovação Agropecuária de Panamá (IDIAP) e ao programa IFARHU-SENACYT pela bolsa de estudo.

Agradeço à Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) pelo ensino de qualidade e pela oportunidade de realizar meus estudos de doutorado.

Agradeço aos colegas do Laboratório de Homeopatia e Saúde Vegetal da Epagri pela amizade, momentos de convivência e trocas de experiências.

## RESUMO

CLAUDIO TONY CORDOBA CORREOSO. SUSTENTABILIDADE DE PROPRIEDADES EM AGRICULTURA FAMILIAR E CONTRIBUIÇÃO DA HOMEOPATIA. 2022. 144p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC, Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV. Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Lages, 2022.

Agrossistemas de base familiar constituem-se um modo de vida com indispensável importância no fornecimento de alimentos para a sociedade. Porém, a intensa industrialização, aonde o conhecimento vem sendo vinculado com pacotes tecnológicos, que por sua vez dependem de um constante fluxo de recursos econômicos e ambientais não renováveis, torna sua persistência cada vez mais vulnerável. Neste trabalho de tese, objetivou-se avaliar a sustentabilidade de propriedades de agricultores familiares e seu impacto na adoção da terapêutica homeopática em substituição das técnicas de intensificação tradicionais/convencional mediante a exploração de um cenário alternativo. O estudo foi conduzido em quatro etapas independentes, porém, consecutivamente complementares: (a) Revisão bibliométrica do método de síntese em emergência como ferramenta metodológica para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas. A revisão subsidiou na escolha de outros métodos/ferramentas científicas para consolidar um modelo conceitual de sustentabilidade mais abrangente; (b) Avaliação da sustentabilidade de seis propriedades de agricultores familiares na mesorregião serrana, tipificadas segundo seu manejo e representatividade da atividade agropecuária em: convencionais grãos-bovinos, leite-grãos, grãos e diversificada; e de base ecológica em agroecológica e orgânica. A análise da sustentabilidade foi realizada empregando as métricas de síntese em emergência, energia incorporada, potencial de ecotoxicidade e indicadores socioeconômicos; (c) Contribuição de preparações homeopáticas para o manejo sustentável da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*); (d) Possível impacto na implementação da homeopatia na sustentabilidade de propriedades familiares mediante a exploração de um cenário alternativo. Os resultados mostram que na Mesorregião Serrana, SC, a propriedade familiar com tipologia Convencional Diversificada apresenta o maior nível de sustentabilidade. Sendo que em geral têm potencial de disponibilizar mais emergência para a sociedade por emergência investida da

economia assim como melhores valores na rentabilidade, lucratividade, renda por hora de trabalho e suficiência de renda. Por outro lado, as propriedades Agroecológica e Orgânica apresentaram os melhores desempenhos ambientais nos indicadores de energia. Os experimentos com preparados homeopáticos na cultura de feijão demonstram que é possível substituir os agrotóxicos e ainda assim ter rendimentos aceitáveis. Na exploração de cenários alternativos a homeopatia contribuiria para possibilitar propriedades mais eficientes no uso da energia de fontes externas, aumentando a capacidade dos sistemas em explorar seus recursos locais, além de incidir em uma produção mais limpa e com custos mais baixos. Assim, a terapêutica homeopática poderia ser usada em planos estratégicos de políticas públicas para melhorar a sustentabilidade de propriedades agrícolas familiares na Mesorregião Serrana.

**Palavras-chave:** Agrossistemas; Preparados homeopáticos; Indicadores; Energia; Agricultor.



## ABSTRACT

CLAUDIO TONY CORDOBA CORREOSO. SUSTAINABILITY OF PROPERTIES IN FAMILY AGRICULTURE AND THE CONTRIBUTION OF HOMEOPATHY. 2022. 144p. Thesis (Doctor's Degree in Plant Science) – Santa Catarina State University – UDESC, Center of Agroveterinarian Science – CAV. Postgraduate Program in Plant Science, Lages, 2022.

Family-based agrosystems constitute a way of life with indispensable importance in providing food for society. However, intense industrialization, where knowledge has been linked with technological packages, which in turn depend on a constant flow of non-renewable economic and environmental resources, makes their sustainability increasingly questionable. In this thesis work, the objective was to evaluate the sustainability of family farmers' properties and its impact on the adoption of homeopathic therapy in substitution of traditional/conventional intensification techniques through the exploration of an alternative scenario. The study was conducted in four independent but consecutively complementary steps: (a) A bibliometric review of the emergy synthesis method was carried out as a methodological tool to assess the sustainability of agrosystems. The review supports the choice of other scientific methods/tools to consolidate a more comprehensive conceptual model of sustainability; (b) Assessment of the sustainability of 6 properties of family farmers in the Serrana Mesoregion, classified according to their management and representativeness of agricultural activity in: conventional grains-cattle, milk-grains, grains and diversified; and ecologically based in agroecological and organic. The sustainability analysis is performed using the metrics of synthesis in emergy, embodied energy, ecotoxicity potential and socioeconomic indicators; (c) Contribution of homeopathic preparations to the sustainable management of common bean (*Phaseolus vulgaris*); (d) Possible impact of the implementation of homeopathy on the sustainability of family properties by exploring an alternative scenario. The results show that in the Serrana Mesoregion, SC, the family property with Conventional Diversified typology has the highest level of sustainability. Since, in general, they have the potential to make more emergy available to society through invested emergy from the economy as well as better values in profitability, income per hour of work and income sufficiency. On the other hand, the Agroecological and Organic

properties presented the best environmental performances in the emergy indicators. Experiments with homeopathic preparations in bean culture show that it is possible to replace pesticides and still have acceptable yields. In exploring alternative scenarios, homeopathy would contribute to having more efficient properties in the use of emergy from external sources, increasing the capacity of systems to exploit their local resources, in addition to focusing on cleaner production at lower costs. Thus, homeopathic therapy could be used in strategic plans for public policies to improve the sustainability of family farms in the Serrana Mesoregion.

**Palavras-chave:** Agrosystems; Homeopathic preparations; Indicators; Energy; Farmers.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma PRISMA descrevendo o processo da seleção dos artigos publicados que utilizaram o método de síntese em emergia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 e 2019.....	28
Figura 2 – Rede de colaboração entre os autores dos artigos publicados que utilizaram o método de síntese em emergia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019. ....	31
Figura 3 – Rede de colaboração entre os países, de acordo com os artigos publicados que utilizaram o método de síntese em emergia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019.....	32
Figura 4 – Rede de colaboração entre as instituições mais colaborativas de acordo com os artigos publicados que utilizaram o método de síntese em emergia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019. ....	34
Figura 5 – Rede de relação entre as 25 palavras-chave mais usadas nos artigos publicados entre o período de 2001 a 2019. ....	35
Figura 6 – Frequência de métodos usados conjuntamente com a sínteses em emergia nos artigos publicados entre o período de 2001 a 2019.....	36
Figura 7 – Indicadores em emergia classificadas de acordo com a frequência ( $\geq 3$ ) de seu uso nos artigos publicados entre o período de 2001 a 2019. ....	37
Figura 8 – Mapa do Brasil com destaque para a localização da Mesorregião Serrana/Serra Catarinense, Estado de Santa Catarina, Brasil. ....	44
Figura 9 – Modelo conceitual de sustentabilidade entrada-estado-saída (“input- state-output”) mostrando os indicadores utilizados. ....	46
Figura 10 – Modelo genérico de um sistema de produção.....	48
Figura 11 – Modelo de um diagrama ternário para emergia. ....	52
Figura 12 – Diagrama de fluxos de energia da propriedade Agroecológica.....	57
Figura 13 – Diagrama de fluxo de energia da propriedade Convencional Grãos+Bovinos.....	57
Figura 14 – Diagrama de fluxos de energia da propriedade Convencional Leite+Grãos .....	58
Figura 15 – Diagrama de fluxos de energia da propriedade Convencional Grãos. ...	58

Figura 16 – Diagrama de fluxos de energia da propriedade Convencional Diversificada. ....	59
Figura 17 – Diagrama de fluxos de energia da propriedade Orgânica. ....	59
Figura 18 – Diagrama ternário mostrando o desempenho emergético para todas as propriedades com (A) e sem (B) mão de obra Familiar das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense. ....	68
Figura 19 – Diagrama ternário mostrando a simergia (A) e a linha de sensibiliade (B) das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense.....	69
Figura 20 – Relação entre ESI e a eficiência global das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense. ....	70
Figura 21 – Gráfico comparativo entre as propriedades familiares avaliadas na Serra Catarinense, contendo todos os indicadores de sustentabilidade. ....	78
Figura 22 – Variação da temperatura (°C) durante o ciclo da cultura no Exp.1 (a) e Exp. 2 (b). ....	84
Figura 23 – Modelo conceptual de sustentabilidade (“Input-State-Output”). ....	95
Figura 24 – Diagrama de sistema que mostra o processo de elaboração do preparado homeopático a partir de uma matéria prima mineral insolúvel até a 12 CH. ....	96
Figura 25 – Diagrama de energia em cenario com a integração de homeopatia, ressaltada em vermelho, em um modelo de propriedade familiar rurais na região da Serra Catarinense, SC, BR.....	99
Figura 26 – Diagrama ternário mostrando o desempenho (simergia) ponderada das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense no Cenário atual (A) e com o uso da homeopatia (B). ....	100
Figura 27 – Comparação entre os indicadores em energia para o cenário atual e otimizada com homeopatia nas propriedades familiares da Serra Catarinense, SC. ....	101
Figura 28 – Ecotoxicidade potencial atual (Atual) e otimizada com o uso de preparados Homeopaticos (CH) nas propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense SC. ....	102
Figura 29 – Comparação dos indicadores socioeconômicos para o cenário atual (Atual) e com uso de preparações homeopáticas (CH). ....	103

Figura 30 – Comparação entre o cenário atual (Atual) e otimizado com homeopatia (CH) nas propriedades rurais familiares estudadas, região Serra Catarinense, SC. ....	105
Figura 31 – Alternativa para melhorar o nível de sustentabilidade atual .....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Periódicos com número de artigos $\geq 2$ que utilizaram o método de síntese em energia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019. ....	29
Tabela 2 – Autores com maior frequência nos artigos publicados que utilizaram o método de síntese em energia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019. ....	30
Tabela 3 – Países com maior número de pesquisas de acordo com as informações dos artigos publicados que utilizaram o método de síntese em energia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019. ....	31
Tabela 4 – Instituições com maior frequência nos artigos publicados que utilizaram o método de síntese em energia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019. ....	33
Tabela 5 – Descrição das tipologias e principais características das propriedades rurais familiares avaliadas. ....	45
Tabela 6 – Classificação dos fluxos de energia considerando as renovabilidades parciais dos materiais e serviços. ....	47
Tabela 7 – Modelo de uma tabela de avaliação em Energia. ....	49
Tabela 8 – Indicadores emergéticos utilizados neste estudo. ....	51
Tabela 9 – Modelo da tabela para avaliação de energia incorporada. ....	53
Tabela 10 – Teor de metais pesados ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em pesticidas e adubos orgânicos e sintéticos ....	54
Tabela 11 – Fluxos de Energia ( $\text{E12 sej/ha}$ ) das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense. ....	61
Tabela 12 – Fluxos de Energia agregados em $\text{E14 sej/ha}$ das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense. ....	62
Tabela 13 – Indicadores em energia calculados com e sem mao-de-obra familiar das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense. ....	63
Tabela 14 – Indicadores de energia incorporada das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense. ....	72

Tabela 15 – Aportes de ingredientes ativos e metais pesados em gramas por hectare (g/ha) dos pesticidas e adubos minerais e orgânicos das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense. ....	72
Tabela 16 – Ecotoxicidade potencial em kg de 1,4-diclorobenzeno-equivalente (1,4 DCB-eq) das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense. ....	73
Tabela 17 – Fluxo monetário e representatividade da mão-de-obra (M.O.F) nos custos de produção das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense. ....	75
Tabela 18 – Indicadores econômicos considerando e desconsiderando o custo da mão-de-obra familiar das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense. ....	76
Tabela 19 – Indicadores sociais das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense. ....	76
Tabela 20 – Biomassa seca das folhas e do caule de plantas de feijão cultivar SCS204 predileto do grupo comercial preto submetidas a preparados homeopáticos. Lages, SC, Brasil.....	86
Tabela 21 – Biomassa seca, folhas e caule, de plantas de feijão cultivar SCS204 predileto do grupo comercial preto submetidas a preparados homeopáticos. Lages, SC, Brasil.....	87
Tabela 22 – Produtividade do feijão cultivar SCS204 predileto do grupo comercial preto submetidas a preparados homeopáticos. Lages, SC, Brasil. ....	89
Tabela 23 – Rendimento de grãos (kg ha <sup>-1</sup> ) e peso de mil sementes (g) sometidas a preparações homeopáticas. ....	90
Tabela 24 – Tabela de avaliação em energia para 100ml de preparado homeopático .....	97

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>17</b>
<b>2 O MÉTODO DA SÍNTESE EM EMERGIA PARA AVALIAR A SUSTENTABILIDADE DE AGROSSISTEMAS: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA ....</b>	<b>25</b>
2.1 RESUMO .....	25
2.2 INTRODUÇÃO.....	25
2.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	27
2.4 RESULTADOS.....	28
2.4.1 Periódicos e autores mais relevantes.....	29
2.4.2 Características e padrões das publicações por País e Instituições .....	31
2.4.3 Frequência das Palavras-chave .....	34
2.4.4 Integração de outros métodos de Análise.....	35
2.4.5 Indicadores emergéticos mais utilizados .....	36
2.5 DISCUSSÃO.....	37
2.6 CONCLUSÃO .....	39
<b>3 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE PROPRIEDADES EM AGRICULTURA FAMILIAR NA SERRA CATARINENSE .....</b>	<b>41</b>
3.1 RESUMO .....	41
3.2 INTRODUÇÃO.....	41
3.3 MATERIAL E MÉTODOS .....	44
3.3.1 Descrição dos sistemas agrícolas estudados .....	44
3.3.2 Avaliação da sustentabilidade das propriedades rurais familiares .....	46
3.3.3 Análise comparativa entre as propriedades rurais familiares .....	55
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
3.4.1 Análise da Síntese em energia .....	56
3.4.2 Análise da energia incorporada das propriedades rurais familiares .....	71
3.4.3 Análise da Ecotoxicidade.....	72
3.4.4 Análise socioeconômico.....	¡Error! Marcador no definido.
3.4.5 Desempenho geral das propriedades rurais familiares .....	77
3.5 CONCLUSÕES.....	79
<b>4 PREPARAÇÕES HOMEOPÁTICAS NO MANEJO DO FEIJOEIRO (<i>Phaseolus vulgaris</i>) .....</b>	<b>81</b>
4.1 RESUMO .....	81



4.2	INTRODUÇÃO.....	81
4.3	MATERIAL E MÉTODOS .....	83
4.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	86
4.4.1	Efeito de preparados homeopáticos no desenvolvimento do feijoeiro ...	86
4.4.2	Efeito de preparados homeopáticos na produtividade do feijoeiro .....	88
4.5	CONCLUSÕES.....	90
5	<b>CONTRIBUIÇÃO DA HOMEOPATIA NA SUSTENTABILIDADE DE PROPRIEDADES EM AGRICULTURA FAMILIAR: CENARIO ALTERNATIVO.</b>	<b>91</b>
5.1	RESUMO .....	91
5.2	INTRODUÇÃO.....	92
5.3	MATERIAL E MÉTODOS .....	94
5.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	95
5.4.1	UEV da preparação homeopática.....	96
5.4.2	Cenário alternativo com uso de preparações homeopáticas nas propriedades de agricultura familiar.....	98
5.5	CONCLUSÕES.....	105
6	<b>DISCUSSÃO GERAL .....</b>	<b>107</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>111</b>
	<b>APÊNDICE A – PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO, RENOVABILIDADES PARCIAIS E UEVS UTILIZADAS NA SÍNTESE EM EMERGIA .....</b>	<b>125</b>
	<b>APÊNDICE B – TABELAS DE EMERGIA DAS PROPRIEDADES RURAIS FAMILIARES LOCALIZADAS NA REGIÃO DA SERRA CATARINENSE, SANTA CATARINA, BRASIL .....</b>	<b>129</b>
	<b>APÊNDICE C – FATOR DE CARATERIZAÇÃO UTILIZADOS PARA O CÁLCULO DO POTENCIAL DE ECOTOXICIDADE EM PROPRIEDADES RURAIS FAMILIARES LOCALIZADAS NA REGIÃO DA SERRA CATARINENSE, SANTA CATARINA, BRASIL.....</b>	<b>135</b>
	<b>APÊNDICE D – DADOS PARA SÍNTESE EM EMERGIA CONSIDERANDO A SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS CONVENCIONAIS POR HOMEOPATIA .....</b>	<b>136</b>
	<b>APÊNDICE E – VALORES DE INTENSIDADE ENERGÉTICA E TABELA DE ENERGIA INCORPORADA DAS PROPRIEDADES RURAIS FAMILIARES LOCALIZADAS NA REGIÃO DA SERRA CATARINENSE, SANTA CATARINA, BRASIL.....</b>	<b>143</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A modernidade ancorada na ótica urbana-industrial-consumista da sociedade atual e sustentada pela economia de mercado, levou ao uso de recursos naturais sem preocupação pela sua taxa de renovação/regeneração dos mesmos (VARGAS *et al.*, 2012). Da mesma maneira, a industrialização da agricultura que tem intensificado os sistemas produtivos de alimentos por uso crescente de insumos sintéticos tem propiciado crescente exaustão dos recursos naturais, uso excessivo de agroquímicos e supressão de processos ecológicos (FARIA, 2014; ZANIRATO; ROTONDARO, 2016). Como consequência, temos agrossistemas com impacto ambiental negativo, altamente dependentes de fontes fósseis e pouco diversificados (KLUTHCOUSKI *et al.*, 2009; AGOSTINHO; ORTEGA, 2007).

A consciência mundial dos limites na exploração dos recursos naturais tornou-se relevante na primeira Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente, em Estocolmo, em 1972 (ZANIRATO; ROTONDARO, 2016). Cientistas, educadores, economistas, humanistas e industriais de diferentes países se reuniram para discutir aspectos sobre o crescimento contínuo em um mundo com recursos naturais finitos (AVILA, 2018). Desde esse encontro, o termo sustentabilidade passou a ter relevância nos fóruns ambientais a nortearem políticas públicas. Conceito de sustentabilidade, decorrente do Clube de Roma foi publicado em 1987 no título de *Relatório Brundtland* “Nosso Futuro Comum” (WCED, 1987), o qual define ser possível aos países crescerem e se desenvolverem desde que seja de modo sustentável. A Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento e Meio Ambiente conhecida como Eco-92, definiu o que pode ser entendido como desenvolvimento sustentável: “aquele que atende às necessidades das gerações presente sem comprometer a possibilidade de as futuras gerações atenderem suas próprias necessidades” (CLARO *et al.*, 2013).

Porém, este conceito de desenvolvimento sustentável, embora teoricamente avançado, tem gerado divergências em suas definições e implicações. Algumas delas sugerem que, na prática, o conceito ficou preso às regras do jogo do sistema econômico de mercado e baseado em um modelo de produção industrial (FOLADORI, 2002). Além disso, a geração atual dificilmente saberia ao certo como as futuras gerações precisariam desses recursos (ZANIRATO; ROTONDARO, 2016).

As interpretações divergentes do conceito de sustentabilidade têm gerado diferentes abordagens, algumas baseadas em valor econômico e outras em princípios

físicos de base ecológica, consideradas, respectivamente, de sustentabilidade “fraca e forte” (SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014). Na agricultura, várias definições de sustentabilidade têm sido fornecidas pela literatura científica; porém, os conceitos variam segundo a área de conhecimento do pensador, a escala do sistema em estudo e a especificidade de cada realidade (COSTA, 2010). Segundo Erick (2013), os desafios da sustentabilidade envolvem interpelações complexas dentro de um sistema, o que torna necessário abordar o conceito integrado às perspectivas ecológica e socioeconômica. De todo modo, a maioria pondera que se devem considerar, pelo menos, as dimensões ambientais, econômicas e sociais (PULSELLI *et al.*, 2015). Allen *et al.* (1991) propuseram ser a agricultura sustentável como “aquela que faz o balanço equilibrado entre interesses ambientais, viabilidade econômica e justiça social”.

Por outro lado, manter níveis adequados da produção agropecuária, juntamente com a conservação dos recursos naturais, é um dos maiores desafios que a humanidade enfrentará nas próximas décadas (BLANDI *et al.*, 2018). Cedillo *et al.* (2008) enfatizam ser necessário promover agrossistemas sustentáveis que integrem estabilidade, resiliência, adaptabilidade eficiência e eficácia na produção, objetivando melhorar o bem-estar, qualidade de vida e equidade entre os agricultores. Esses autores ponderam que se houver dependência de contribuições externas, estas devem ser de natureza temporária e que ofereçam promoção de tecnologias de baixo investimento. Sob o ponto de vista energético, as fontes de energias aos ecossistemas podem ser de origem ecológica, advindas dos astros, majoritária e primariamente do sol, ou cultural, que lhes é fornecida por “inputs” a um determinado sistema biológico/ecossistema fornecido pelos seres humanos (ALMEIDA; DE AQUINO; ALMEIDA, 2003). Quanto maiores as modificações nos processos naturais que os humanos impõem ao meio ambiente, onde estão sendo produzidos alimentos, maiores são as quantidades de energia cultural necessárias.

A avaliação da sustentabilidade no contexto de agrossistemas de base familiar requer uma abordagem multi e interdisciplinar que permita a criação e aplicação de políticas governamentais e o apoio na tomada de decisão em um nível da unidade familiar (TORO *et al.*, 2010). Ou seja, uma mudança do enfoque convencional reducionista para uma abordagem que inclui interações complexas com visão ecossistêmica que procure equilíbrio entre os sistemas biológico-natural e social (CEDILLO *et al.*, 2008). A abordagem holística e multidisciplinar faz-se necessária na

análise de sustentabilidade, com o fim de melhorar os entendimentos dos impactos das intervenções do homem nos ecossistemas (PINHEIRO, 2000).

A análise sistêmica pressupõe serem as produções agrícolas inseridas num contexto ampliado caracterizado como Agrossistemas. Agrossistemas são sistemas naturais que foram modificados para atender necessidades humana (VARGAS *et al.*, 2012). Requerendo, assim, uma fonte adicional de energia, além do que vem do sol, para manterem excedentes uteis para fins alimentícios, bioenergéticos e/ou produção de fibras (KOZIOSKI; CIOCCA, 2000). No entanto, quando essa energia vem de fontes não renováveis, os sistemas de produção podem se tornar insustentáveis em termos ambientais, econômicos e sociais (LEFROY; RYDBERG, 2003). Nesse sentido, uma maneira de avaliar a sustentabilidade de agrossistemas é fazer uma abordagem através perspectivas múltiplas com métodos/indicadores capazes de abranger as dimensões ambientais, econômicas e sociais.

A avaliação da sustentabilidade com diferentes abordagens, que varia de autor para autor, fornece informações mais abrangentes com menor probabilidade de erro para tomada de decisão em políticas públicas (GIANNETTI *et al.*, 2019). Assim a proposta de avaliação multicritério multiescala de sustentabilidade (SUMMA) desenvolvida por Ulgiati *et al.* (2006) propõe integrar vários métodos segundo um esquema “upstream” e “downstream” com objetivo de superar deficiência e possíveis conclusões enganosas quando é utilizado um único critério de avaliação. Por outro lado, Pulselli *et al.* (2011) propõe o uso da abordagem entrada-estado-saída para descrever aspectos multidimensionais do comportamento do agrossistema e assim identificar onde o sistema estaria necessitando de adequações. A adequação de métodos/indicadores em cada um dos elos da cadeia (entra-estado-saída) na abordagem entrada-estado-saída é fundamental para diagnosticar corretamente o agrossistema em estudo (PULSELLI *et al.*, 2015). Sendo assim nesta abordagem é possível encaixar os indicadores das métricas de Síntese em Energia, Energia Incorporada, Indicadores Socioeconômicos e Potencial de Ecotoxicidade.

A Síntese em Energia, também chamada de contabilidade ambiental em energia, é considerada por vários autores, um apoio metodológico robusto e útil para avaliar agrossistemas (GIANNETTI *et al.*, 2013; RODRÍGUEZ *et al.*, 2014). A métrica Síntese em Energia foi desenvolvida pelo ecólogo Howard T. Odum em base a leis da termodinâmica, na teoria geral de sistemas e na ecologia de sistemas (FRANZESE *et al.*, 2009). Energia é definida como “energia disponível de um tipo que foi

previamente utilizada diretamente e indiretamente para fazer um serviço ou produto” (ODUM, 1996). Com esta métrica se transformam todos os fluxos de entrada de um sistema (massa, energia ou monetário) em suas respectivas unidades a uma unidade padrão denominada joules de energia solar “sej” (BROWN; ULGIATI, 2004a). Esta transformação expressa quantitativamente a razão entre a energia demandada do produto pela sua unidade de saída (sej/J, sej/g e sej/\$). Tendo os fluxos em uma unidade comum (sej), é possível fazer o cálculo de indicadores emergéticos e do valor real do produto com aporte da natureza (sol, chuva, vento) (ZHANG; LONG 2010). Essa metodologia propicia clareza na toma de decisão para agricultores e técnicos do setor agropecuário, sobre a relação entre energias renováveis e não renováveis utilizadas pelo sistema.

A Energia Incorporada, segundo Franzese *et al.* (2009), permite quantificar a energia equivalente ao petróleo necessária para produzir insumos como: fertilizantes, pesticidas, maquinaria, combustível, eletricidade entre outros. Esta análise está focalizada no esgotamento do estoque de energia fóssil e, portanto, todas as entradas de processos de material e energia que não requerem o uso de fontes fósseis não são contabilizadas. Os principais indicadores nesta metodologia são o requerimento bruto de energia (RBE), a qual fornece informação sobre a energia que foi incorporada no sistema (MJ/ha) ou por unidade de saída (MJ/J, MJ/kg), e o retorno de energia sobre o investimento (EROI), o qual representa a razão entre a produção de energia e a entrada de energia durante o processo de produção da energia (FENG *et al.*, 2018).

Indicadores que proporcionem informação sobre o desempenho financeiro e possíveis problemas sociais são, também, importantes nas análises de sustentabilidade. Cavalett e Ortega (2009) sugerem indicadores baseados na análise da rentabilidade e lucratividade, por oferecerem uma perspectiva de curto prazo com maior clareza na tomada de decisões e serem adequadas para avaliar sustentabilidade social, como a insuficiência de ingressos que leva ao agricultor a depender de outros sistemas econômicos (JAKLIČ *et al.*, 2014).

O Potencial de Ecotoxicidade, por sua vez, está destinado a quantificar impactos ambientais de substâncias químicas, que alteram processos dentro dos agrossistemas (ULGIATI *et al.*, 2006). O potencial de impacto se calcula multiplicando todas as emissões por seus respectivos fatores de conversão vinculado a uma substância de referência. Como exemplo, mencionamos a substância 1,4 dichlorobenzene que tem sido utilizada para referenciar o potencial de ecotoxicidade

na cultura convencional e orgânica de maçã (ZHU *et al.*, 2018), na produção convencional e orgânica de tomate (HE *et al.*, 2016) e na produção de trigo e milho (CUI *et al.*, 2018).

A aplicação conjunta das métricas tem sido também, referenciada na literatura científica. Pereira e Ortega (2010) utilizaram a Síntese em Emergia (SE) e Energia Incorporada (EI) para avaliar a sustentabilidade na produção de etanol em larga escala no Brasil, a partir da cana de açúcar no Brasil. Ju e Chen (2011) avaliaram o desempenho de uma cadeia de produção de biodiesel a partir de óleo de *Jatropha curcas* L na China e Agostinho e Ortega (2012) compararam pequenas propriedades familiares com características IFEES (“Integrated food, energy and environmental services”) na produção de etanol em grande escala no Brasil, com as mesmas métricas de SE e EI. Segundo Franzese *et al.* (2009), essas metodologias oferecem informações de forma complementar, na qual a Síntese em Emergia contabiliza trabalho da natureza em fluxo para sustentar os sistemas de produção e a Energia Incorporada contabiliza os fluxos a partir do uso de combustíveis fósseis.

Em relação aos indicadores socioeconômicos é possível referenciar os trabalhos de Jaklič *et al.* (2014) que avaliaram nove tipos de fazendas do setor leiteiro da Eslovênia. Nesse exemplo, os indicadores socioeconômicos favoreceram os sistemas convencionais maiores; porém, os indicadores em Síntese em Emergia favoreceram os sistemas orgânicos e de baixa escala comercial. Cavalett e Ortega (2009) avaliaram indicadores econômicos em conjunto com a Síntese em Emergia nas etapas de produção e processamento industrial da soja no Brasil. Os autores demonstraram que na exportação de soja o país perde grande quantidade de emergia e além pode se agravar pela instabilidade de preço das commodities. O cultivo de banana em Guadalupe foi avaliado por Barros *et al.* (2009): nos seis sistemas avaliados, foi demonstrado pelos índices de emergia que os sistemas são dependentes em 74% de recursos não renováveis (combustíveis e agroquímicos). No entanto, os indicadores econômicos mostram que os sistemas sobrevivem como atividade econômica graças aos subsídios governamentais. Em Portugal, Fonseca *et al.* (2019) comparam os indicadores de emergia e econômicas para determinar suas contribuições na compreensão de sistema complexos, utilizando uma fazenda como estudo de caso. Concluindo que as abordagens em emergia e econômicas diferiram na valorização dos diferentes insumos para o sistema, sendo o trabalho dos recursos naturais subvalorizado na contabilidade econômica. Segundo Lu *et al.* (2010), a

análise de energia incorporada pelo uso eficiente de energia fóssil permite estimar a eficiência econômica (produto/insumo). Não entanto, a Síntese em Energia usa abordagens espaciais e temporais mais amplos incluindo as contribuições da natureza, tendo como alvo final a interação sustentável do meio ambiente e da economia. Isto sugere que ao utilizar o conjunto das abordagens amplia nosso sistema de avaliação da sustentabilidade com informações mais seguras para tomada de decisão.

A avaliação da sustentabilidade pelas dimensões ambientais, sociais e econômicas, segundo um modelo entrada-estado-saída, nos possibilita a identificar o estado atual e onde o agrossistema tem necessidade de adequações (PULSELLI *et al.*, 2015). Isto subsidia aos planejadores e tomadores de decisões fontes de informação sistêmicas e úteis para desenvolver agrossistemas mais equilibrados com menos dependências de fontes externas. Neste cenário, fica evidente a busca de alternativas que venham a mitigar os problemas existentes no processo de produção de alimentos, em vista a sustentabilidade de toda a propriedade agrícola. O uso de produtos naturais, por exemplo, tem-se mostrado importante componente do manejo fitossanitário na substituição de agrotóxicos (MARTÍ *et al.*, 2010). Da mesma forma, terapias fitossanitárias não residuais necessitam serem desenvolvidas, levando em conta a relação custo-benefício, sob o ponto de vista econômico, ambiental e de saúde do agricultor (BOFF, 2008). É o caso do uso de altas diluições dinamizadas (homeopatia) nos cultivos agrícolas e criações animais (TEIXEIRA; CARNEIRO, 2017; JÄGER *et al.*, 2015).

A homeopatia é um sistema terapêutico que consiste em administrar substância em doses infinitesimais guiada pela fonte de informação produzida na experimentação de indivíduos saudáveis, que indica potencial de curas desses preparados homeopáticos. A Homeopatia surge na Alemanha com Samuel Hahnemann (1755-1843) e busca a relação entre o remédio e organismo enfermo como um todo. No uso da Homeopatia, pressupõe-se a capacidade inata do organismo de se manter saudável graças à sua força vital que regula suas funções e reage automaticamente às agressões externas, a fim de restaurar esse equilíbrio dinâmico/homeostase individual (SANZ *et al.*, 1999). O uso na agricultura brasileira encontra-se regulamentado para a produção orgânica na portaria N°52 de 2021, embora possa ser usada também para demais sistemas integrados e/ou convencional (BRASIL, 2021). Os medicamentos homeopáticos são catalogados por sua origem de procedência

vegetal animal e mineral como matéria prima (BRASIL, 2011). A implementação na agricultura apresenta a dificuldade de que os remédios homeopáticos têm suas propriedades descritas para humanos e sua extensão nos sistemas de cultivo necessita de reinterpretações e/ou experimentações adicionais (BOFF *et al.*, 2021).

Pesquisas realizadas demonstram que, o uso da homeopatia tem aumentado o rendimento e o desenvolvimento de plantas. Santos Junior *et al.* (2021) obteve entre 18 e 33% mais de rendimento (kg/ha) na cultura de feijão com preparados homeopáticos em relação à testemunha sem aplicação. Verdi *et al.* (2020) puderam substituir os agrotóxicos por homeopatia na cultura de arroz e resultou em 21% mais de rendimentos (kg/ha). Pulido *et al.* (2014) tiveram um incremento de 22% na produção de repolho com homeopatia em relação à testemunha. No manejo de doenças, Modolon *et al.* (2012) demonstraram que preparações homeopáticas de *Sulphur* na 12CH reduziram drasticamente as incidências de brocas e septoriose em tomateiros nos sistemas de produção orgânico. Nessa mesma cultura, Toledo *et al.* (2015) usando preparações homeopáticas de *Sulphur* 12 e 30CH obtiveram reduções na incidência de *Alternaria solani* entre 17% e 49%. Rissato *et al.* (2018) encontraram reduções de 33, 43 e 48% no crescimento micelial de *Sclerotinia sclerotiorum* do feijão com preparado homeopático *Phosphorus* nas dinamizações 6CH, 12CH e 48CH quando comparados com o controle. Estudos realizados por Oliveira *et al.* (2014) mostram potencial das preparações homeopáticas *Corymbia citriodora*, *Calcarea carbonica* e *Silicea* nas dinamizações 12, 24 e 30CH na ativação, em plantas de feijão, de mecanismo bioquímicos de defesa como a peroxidase, catalase, quitinase e fitoalexina.

Tais intervenções com preparações homeopáticas têm demonstrado alto potencial de serem integradas no manejo sustentáveis em agrossistemas de base familiar (BOFF, 2013). Principalmente porque as bases epistemológicas que dirigem esta ciência são coerentes como a necessidade de desenvolver modelos de produção que sejam ambiental, econômica e socialmente sustentáveis, respeitando a soberania local das populações (ANDRADE; CASALI, 2011). Sendo assim, a homeopatia pode ser um recurso capaz de instrumentalizar ao agricultor a se liberar das dependências externas e dependentes de fontes fósseis nos sistemas tradicionais tanto quanto nos convencionais de produção agropecuária (BOFF *et al.*, 2021). Esta abordagem é importante uma vez que propriedades familiares são fundamentais na segurança alimentar e nutricional das populações (BENJAMIN, 2015). Segundo Dreby *et al.*



(2017), entre o 70-80% do alimento do mundo é fornecido por sistema de produção em pequena escala e de gerencia familiar. No Brasil, dados do IBGE (2017) demonstram que em Santa Catarina 78% dos estabelecimentos agropecuários são classificados como familiares e são responsáveis por 51% do Valor Bruto da Produção Agropecuária (VBP). Este estado é caracterizado, também, por apresentar elevados índices de produtividade em comparação a outras regiões Brasileiras (Epagri-CEPA, 2019). No entanto, esses valores produtivos são o resultado de uma intensificação dos sistemas de produção de alimentos, onde mais de 70% das propriedades rurais são dependentes de agrotóxicos (IBGE, 2017).

Este trabalho de tese teve o objetivo de avaliar a sustentabilidade de propriedades em agricultura familiar através de métricas que avaliem o desempenho ambiental e socioeconômico, considerando o impacto na implementação da homeopatia como cenário alternativo.

O estudo encontra-se dividido em quatro partes/capítulos: (a) No primeiro capítulo realizou-se revisão bibliométrica de literatura na temática de síntese em energia para avaliar sustentabilidade em agrossistemas. O trabalho também subsidiou na escolha de outras métricas para avaliar a sustentabilidade de propriedades em agricultura familiares descritas no Capítulo 2; (b) No segundo capítulo serão apresentados resultados da avaliação de sustentabilidade das propriedades de agricultores familiares na Mesorregião Serrana, SC, segundo as métricas de energia, energia incorporada, potencial de ecotoxicidade e indicadores socioeconômicos; (c) No terceiro capítulo serão apresentados os resultados da contribuição de preparações homeopáticas para o manejo sustentável da cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*) visando à substituição no uso de agroquímicos nas propriedades de agricultores familiares; (d) Ao quarto capítulo se explora cenário alternativo que mede o impacto na implementação da homeopatia na sustentabilidade de propriedades familiares na Mesorregião Serrana, SC. Finaliza-se com a discussão geral em que se busca remeter a avaliação da sustentabilidade agrícola por critérios objetivos mais robustos associando cenários integrados para melhor tomada de decisão em políticas públicas.

## 2 O MÉTODO DA SÍNTESE EM EMERGIA PARA AVALIAR A SUSTENTABILIDADE DE AGROSSISTEMAS: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

### 2.1 RESUMO

A Síntese em Emergia tem-se mostrado como um instrumento útil e de metodologia robusta para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas. Objetivou-se analisar as características e padrões de colaboração das publicações científicas entre os anos 2001 a 2019 que utilizaram a Síntese em Emergia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas. A seleção de artigos científicos foi realizada segundo o protocolo PRISMA e o resultado foi analisado com o método bibliométrico. Entre os 85 artigos científicos analisados, 90% estão publicados em idioma inglês e onze periódicos são responsáveis por 76% dos artigos. Formando grupos colaborativos com países, a China lidera com 26 publicações, seguida pelo Brasil com 24. No Brasil a Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) foi a instituição com a maior representação nas publicações e na China foi a “China Agricultural University”. O termo “Emergy analysis” foi uma das palavras-chave mais utilizada e ativamente relacionada com “sustainability”. A integração da Síntese em Emergia com análises econômicas foi também registrada. Mais de 40 termos indicadores em emergia foram usados, porém, os clássicos ELR (Razão de Carga Ambiental), EYR (Razão de Rendimento em Emergia), Tr (Transformidade), %R (Renovabilidade) e ESI (Sustentabilidade em Emergia) foram frequentemente utilizados.

**Palavras-chave:** Emergia; Publicações; Produção; Indicadores em emergia.

### 2.2 INTRODUÇÃO

As ações antrópicas sobre os ecossistemas naturais, seguindo apenas as demandas produtivistas do mercado global, têm gerado sistemas de produção de alimentos/agrossistemas que dependem de um constante fluxo de insumos externos, além de causarem impactos ambientais negativos (TILMA *et al.*, 2011; TORELL, 2020). Assim, o rápido deterioramento dos recursos naturais e a preocupação pela sustentabilidade ambiental de agrossistemas, aliada aos modos de vida da população, tem levado a procurar instrumentos metodológicos que possam identificar atitudes e

práticas sustentáveis em longo prazo (KOZIOSKI *et al.*, 2000). O diagnóstico e a identificação do nível de sustentabilidade de agrossistemas é um caminho viável para propor alternativas aos modelos de produção de alimentos, altamente intensificados e industrializados (MORENO, 2013).

Nesse sentido, metodologias que considerem a sustentabilidade ambiental e desempenho energético de agrossistemas são propostas como alternativas de avaliação (TORO *et al.*, 2010). Porém, poucos métodos de avaliação providenciam uma imagem completa do sistema em estudo considerando as entradas de fontes naturais (chuva, sol, solo e água) até agora tidas como gratuitas (BROWN; ULGIATI, 2004b). Para resolver essa dificuldade a metodológica de Síntese em Emergia, também chamada de contabilidade ambiental em emergia, tem sido proposta, devido à sua abordagem do lado do doador (natureza), que permite medir tanto o trabalho da natureza quanto do homem na geração de produtos e/ou serviços (ULGIATI; BROWN, 2009).

Emergia é definida como a “*energia disponível de um tipo usada em transformações direta e, indiretamente, para criar um produto ou serviço*” (Odum, 1996). A unidade universal da emergia é joules de energia solar “sej”, referindo-se à disponibilidade de energia consumida nas transformações anteriores (BROWN; ULGIATI, 2001). Assim a consolidação de diferentes tipos de fluxos (massa, dinheiro e energia) em uma base comum (sej) facilita as comparações diretas de entradas e saídas, para os cálculos de indicadores baseados em emergia que forneçam informações sobre a sustentabilidade ambiental de um sistema de produção (BROWN *et al.*, 2005). Nessa perspectiva, a síntese em emergia é considerado um método robusto e usado mundialmente para caracterizar o nível de sustentabilidade de diferentes tipos de agrossistemas (LU *et al.*, 2009; GIANNETTI *et al.*, 2013).

Alguns estudos de revisão da literatura têm sido feitos sobre o desenvolvimento e aplicação da síntese em emergia em diferentes áreas. Amaral *et al.* (2016) realizaram uma revisão sobre a teoria de emergia, sua aplicação e desenvolvimento ao passo que Chen *et al.* (2016) aplicaram técnicas bibliométricas para avaliar quantitativa e visualmente as pesquisas científicas sobre emergia entre 1996 e 2014. Assim, estes estudos fornecem uma imagem holística de todas as áreas onde o método de síntese em emergia é aplicado. Porém, sendo que nos últimos anos o método está sendo amplamente utilizado na avaliação de agrossistemas, torna-se necessário reunir informação quantitativa de padrões e características de colaboração

das publicações científicas que tratam este tema. Dessa forma, a bibliometria, que é um tipo de revisão da literatura, auxilia na análise quantitativa de um conjunto de publicações, descrevendo as características e padrões de distribuição da atividade científica dentro de um determinado tópico (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

O objetivo deste estudo foi descrever as características, padrões de colaboração e distribuição de publicações científicas que utilizaram a metodologia de Síntese em Emergia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas.

## 2.3 MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo de revisão da literatura foi utilizado o método de análise bibliométrico, utilizando artigos publicados e disponíveis na base de dados da Plataforma da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e publicados entre 2001 e 2019. A plataforma foi escolhida pela robustez de abarcar periódicos nacionais e internacionais. Utilizou-se a ferramenta de busca avançada, procurando pela palavra “Emergy” ligada com as palavras-chave de “Emergy analysis”, “Sustainability”, “Agrosystems”, “Agriculture” e “Livestock”. Os idiomas para pesquisa foram em inglês, português e espanhol.

A seleção dos artigos foi realizada seguindo as diretrizes do protocolo PRISMA (“Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis”) como proposto por Moher *et al.* (2009). Essas diretrizes consistem em elaborar um fluxograma de quatro fases: critérios de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão.

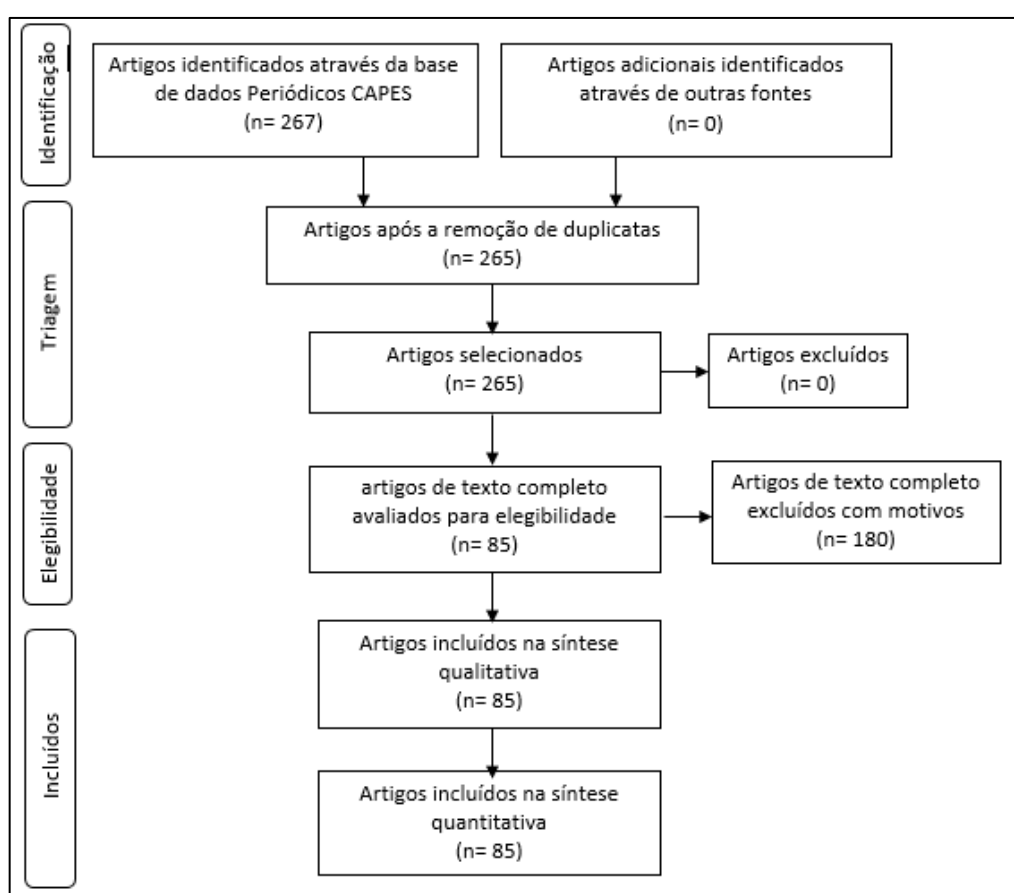
Os artigos selecionados foram armazenados em uma base de dados, utilizando os seguintes indicadores bibliométricos: título, autores, periódico, ano de publicação, idioma, palavras-chave, fator de impacto (ano 2018), instituições envolvidas, países envolvidos na pesquisa, país onde foi feita a pesquisa, indicadores em emergia e outras ferramentas metodológicas utilizadas. Posteriormente, com os indicadores, foi realizada a análise bibliométrica, para descrever de maneira quantitativa as características e padrões de distribuição das publicações científicas que utilizavam o método de síntese em emergia para avaliar a sustentabilidade em agrossistemas.

A análise da base de dados, dos artigos, foi realizada através do ambiente R empregando o “bibliometrix R-package” (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

## 2.4 RESULTADOS

Na Figura 1 é apresentado o fluxograma PRISMA que descreve os processos e sua correspondente identificação, triagem, elegibilidade e artigos incluídos para a análise. A busca resultou em 267 artigos que iniciaram a fase de triagem, onde se removeu 2 por duplicidade, resultando em 265 registros para a seguinte fase. Na fase de elegibilidade foram excluídos 180 (livros, resumos, revisões bibliográficas, áreas de pesquisa não relacionadas com agrossistemas) por motivos que seus conteúdos não estavam alinhados com o objetivo da pesquisa. Assim, após avaliação da elegibilidade, foram selecionados 85 artigos para a análise bibliométrica.

Figura 1 – Fluxograma PRISMA descrevendo o processo da seleção dos artigos publicados que utilizaram o método de síntese em emergência para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 e 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Entre os 85 artigos incluídos, 90% foram publicados no idioma inglês, 6% em espanhol e 4% em português. No total de 276 autores participaram nas publicações,

com uma relação de 3,24 autores por documento, um índice de colaboração de 3,31 e um total de 252 palavras-chave. Por outro lado, a produção científica anual inicia com um artigo publicado no ano 2001 passando para 28 entre o 2018 (16) e 2019 (12), resultando em uma média de 4,4 artigos publicados por ano.

#### 2.4.1 Periódicos e autores mais relevantes

Os 85 artigos analisados estão publicados em 31 periódicos, sendo contabilizados 10 periódicos que se destacaram por concentram o 74% das publicações. O periódico com maior número de publicações é o “Journal of Cleaner Production” com 23 artigos (26% do total), seguido de “Ecological Modelling” com oito publicações (Tabela 1).

Tabela 1 – Periódicos com número de artigos  $\geq 2$  que utilizaram o método de síntese em emergência para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019.

Periódico	Nº de Artigo	Proporção ao total (%)	Fator de impacto
Journal of Cleaner Production	23	27	6,40
Ecological Modelling	8	9	2,63
Ecological Indicators	6	7	4,49
Ecological Engineering	6	7	2,63
Agricultural Systems	5	6	4,13
Agriculture, Ecosystems and Environment	4	5	3,94
Journal of Environmental Management	3	4	4,86
Energy Policy	3	4	4,88
Acta Agronómica	3	4	0,24
Energy	2	2	5,57

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em relação aos autores, um pequeno grupo de 10 autores contribuiu com 61 publicações, representando 71% do total das publicações selecionadas. Além disso, os nomes mais frequentes, como autores ou co-autores, foram Ortega E. (Unicamp) e Campbell D. (USEPA) aparecendo em 12 e 8 artigos respectivamente. No entanto, em relação a artigos fracionalizados, destaca-se Ortega E. como valor de 4,00 o que

é o resultado de ter mais publicações compartilhadas entre poucos autores (Tabela 2).

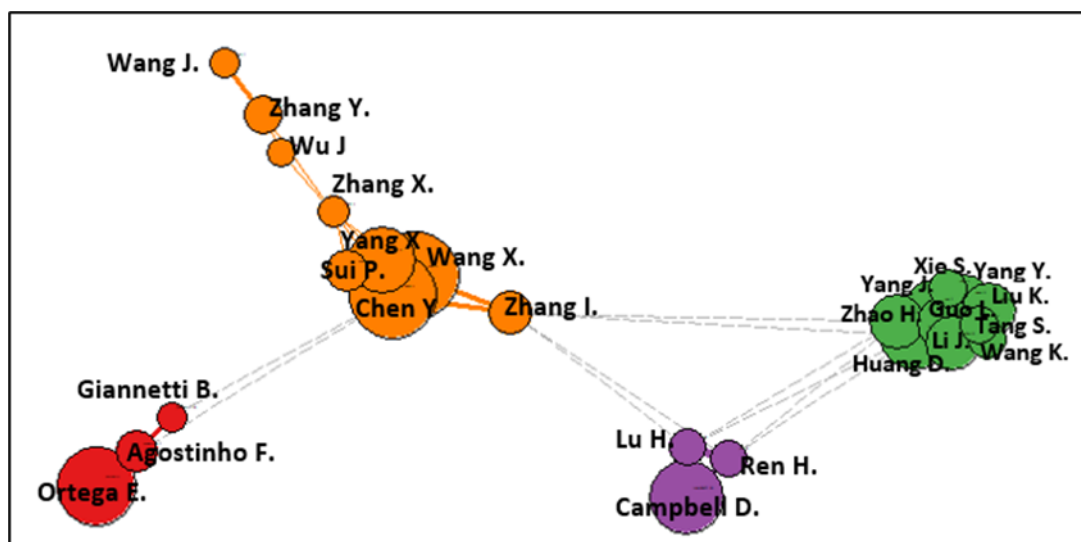
Tabela 2 – Autores com maior frequência nos artigos publicados que utilizaram o método de síntese em emergência para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019.

Frequência		Fracionalização	
Autor	Artigos	Autor	Artigo
Ortega E.	12	Ortega E.	4,00
Campbell D.	8	Campbell D.	1,70
Chen Y.	7	Agostinho F.	1,40
Wang X.	7	Chen B.	1,16
Agostinho F.	5	Cavalett O.	1,16
Bastianoni S.	5	Bastianoni S.	1,15
Sui P.	5	ChenY.	1,13
Li J.	4	Rydberg T.	1,08
Cavalett O.	4	Wright C.	1,00
Zhang L.	4	Wang X.	0,97

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A análise de colaboração entre autores foi realizada entre aqueles como três ou mais artigos publicados. O tamanho do círculo é representativo da quantidade de publicações e a distância entre os círculos sugere a relação inversamente proporcional na colaboração, ou seja, a menor distância maior a colaboração entre esses autores, formando assim grupos/*cluster* com colorações diferentes. Vários *clusters* com predominância de autores chineses são formados e com um ou dois autores principais. Sendo o grupo liderado por Li J com a maior quantidade de autores com colaborações mais próximas, porém com menor quantidade de publicações que o grupo liderado por Wang X e Chen Y. Os autores brasileiros formam um cluster entre Ortega, Agostinho F. e Giannetti F. (Figura 2).

Figura 2 – Rede de colaboração entre os autores dos artigos publicados que utilizaram o método de síntese em emergência para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

#### 2.4.2 Características e padrões das publicações por País e Instituições

A contribuição dos países foi estimada levando-se em consideração o local/condição em que a pesquisa foi realizada. Assim, as pesquisas a campo foram realizadas em 21 países, dos quais 6 contribuem com o 76% do total de artigos publicados, sendo em primeiro lugar a China (26) e em segundo lugar Brasil (24) (Tabela 3).

Tabela 3 – Países com maior número de pesquisas de acordo com as informações dos artigos publicados que utilizaram o método de síntese em emergência para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019.

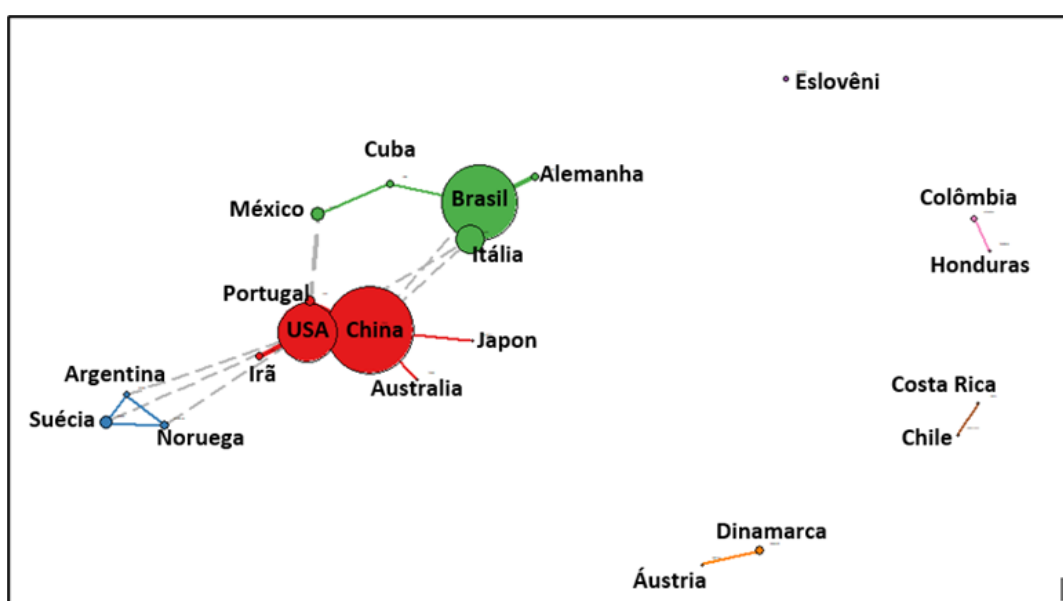
Países	Nº artigo	%
China	26	30
Brasil	24	28
Italia	6	7
Irã	3	3,5
USA	3	3,5
Portugal	3	3,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).



O padrão de colaboração entre os países foi estimado de acordo com o país de origem da instituição na qual os autores dos artigos fazem parte. Pode-se observar pequenos grupos de conglomerados, no qual países ocupam uma posição central (Exemplo: China e Brasil) na colaboração como outro pequeno grupo de países. Neste sentido, a China é o principal país com colaboração internacional, especialmente com países como Estados Unidos e Portugal. O Brasil é o segundo, com uma colaboração muito forte com a Itália (Figura 3). É possível que as colaborações ocorram principalmente por parcerias entre instituições com objetivos de projetos em comum, neste caso a Síntese em Emergia.

Figura 3 – Rede de colaboração entre os países, de acordo com os artigos publicados que utilizaram o método de síntese em emergia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O nome das instituições foi determinado tomando em consideração a afiliação dos autores nas publicações. Assim foram contabilizadas 108 instituições, das quais 84 aparecem ocasionalmente só em um artigo. Um pequeno grupo de 11 instituições são as que mais contribuem com as publicações de artigos. Sendo em primeiro lugar a Universidade Estadual de Campinas - Unicamp (Brasil), instituição que contribuiu com 13 artigos dos 85 publicados, seguido da “China Agricultural University”, “Chinese Academy of Sciences” e Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

(USEPA). Constituindo as instituições da China a maior representação de colaboração no total de artigos (Tabela 4).

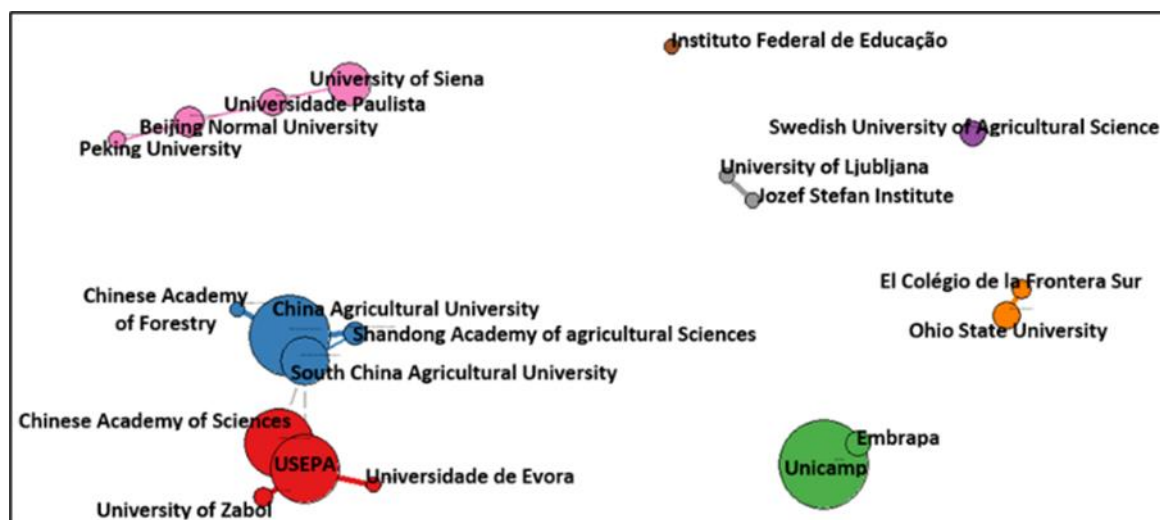
Tabela 4 – Instituições com maior frequência nos artigos publicados que utilizaram o método de síntese em emergência para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019.

Instituição	País	Número de artigo
Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)	Brasil	13
China Agricultural University	China	10
Chinese Academy of Sciences	China	7
USEPA	EUA	7
South China Agricultural University	China	5
University of Siena	Itália	5
Beijing Normal University	China	4
Swedish University of Agricultural Science	Suécia	3
Universidade Paulista	Brasil	3
Embrapa	Brasil	3
Ohio State University	EUA	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Considerando a rede de colaboração entre as instituições pode-se observar na Figura 4 que as 20 instituições com maior representatividade de colaboração, formam pequenos conglomerados com colorações diferentes. Conforme a Figura 3, observa-se que várias instituições matem uma rede de cooperação com um pequeno grupo de colaboradores, sendo mais representativos e centrais a “China Agricultural University”, “South China Agricultural University” e “Shandong Academy of Agricultural Sciences”. Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) apresenta uma ativa rede de colaboração com a “Chinese Academy of Sciences” e a Universidade Paulista de Brasil com a “University of Siena” de Itália (Figura 4).

Figura 4 – Rede de colaboração entre as instituições mais colaborativas de acordo com os artigos publicados que utilizaram o método de síntese em emergia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas entre o período de 2001 a 2019.

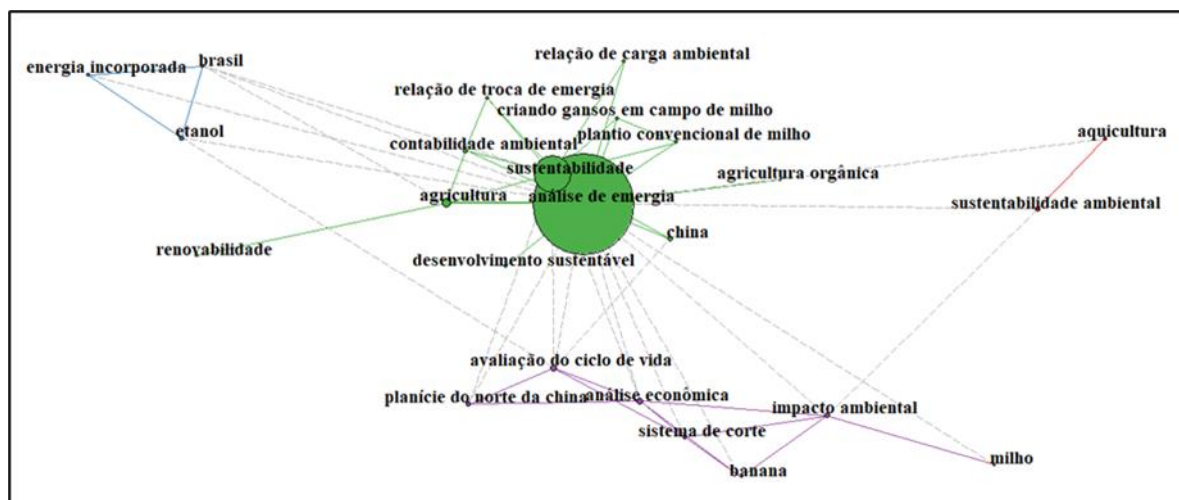


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

### 2.4.3 Frequência das Palavras-chave

Considerando que não há diferença entre as palavras “Emergy” “Emergy Synthesis”, “Emergy análisis”, “Emergy evaluation” “Emergy Methodology” “Emergy accounting” todas essas palavras foram unificadas em “Emergy analysis”. Assim em um total de 252 palavras-chave foram localizados 85 artigos publicados objeto do presente estudo. Todas as palavras-chave foram classificadas de acordo com a frequência de seu uso nas publicações. Neste sentido, um total de 216 (85%) não apresentaram repetições, sendo usadas ocasionalmente só em um artigo. Por outro lado, a palavra chave “Emergy analysis”, apresentou a maior frequência (69 vezes) constituindo o ponto central de relacionamento com outras palavras como “Sustainability”, a segunda de maior frequência (26 vezes), “Agriculture”, “Life cycle assessment” e “Environmental sustainability” (Figura 5).

Figura 5 – Rede de relação entre as 25 palavras-chave mais usadas nos artigos publicados entre o período de 2001 a 2019.

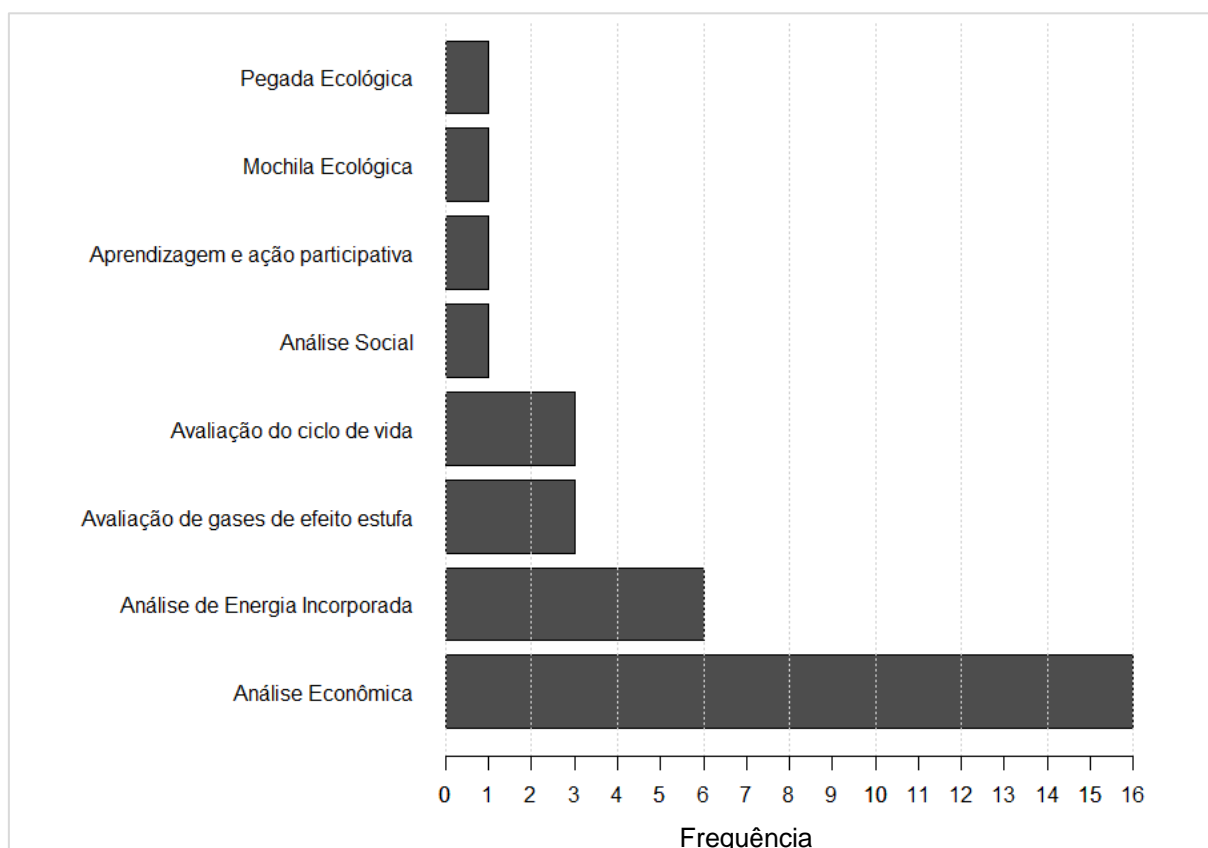


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

#### 2.4.4 Integração de outros métodos de Análise

Outros métodos de análises foram utilizados de maneira complementar para avaliar a sustentabilidade em agrossistemas (Figura 6). Nas publicações avaliadas (85) o método de análises econômicas predominou numa frequência de 16 vezes seguido da análise de energia incorporada (6), análises de ciclos de vida (3) e avaliação de gases de efeito estufa (3). Em relação às análises econômicas, os principais índices utilizados nos artigos foram: receita bruta e líquida, lucratividade e rentabilidade entre outros. Uma vez adquiridas as informações de custos de produção e as receitas das vendas dos produtos, a utilização do método econômico em conjunto com a Síntese em Emergia favorece para que os índices se tornem de facilmente calculados e compreendidos (CAVALETT; ORTEGA, 2010; CUADRA; BJÖRKLUND, 2007).

Figura 6 – Frequência de métodos usados conjuntamente com a sínteses em energia nos artigos publicados entre o período de 2001 a 2019.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

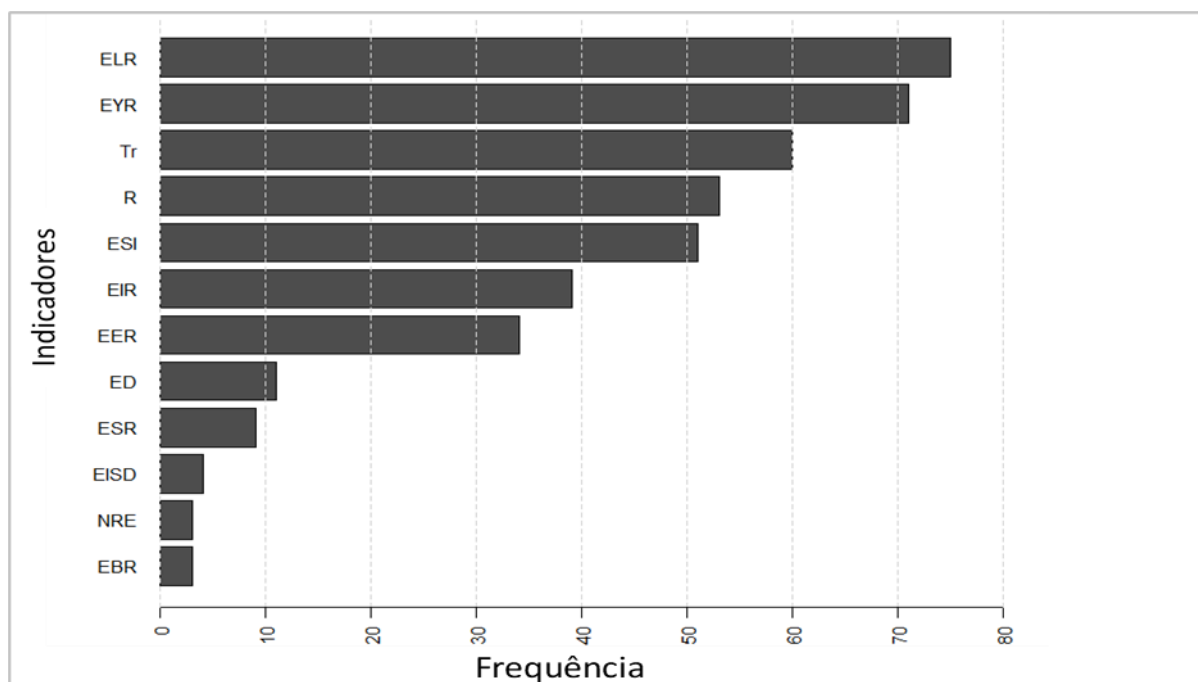
#### 2.4.5 Indicadores emergéticos mais utilizados

Os indicadores derivados da síntese em energia são essenciais para analisar a sustentabilidade de um sistema de produção. Com os indicadores emergéticos, é possível ter uma ideia da contribuição dos recursos naturais, bem como as relações entre os fluxos importados e locais, não renováveis e os renováveis e a dependência dos fluxos da economia ao sistema produtivo (BROWN *et al.*, 2005; MARTIN *et al.*, 2006).

Nos artigos avaliados (85) foram encontrados 40 diferentes tipos de indicadores, dos quais 22 foram usados apenas uma vez. Os indicadores ELR, EYR, Tr, %R e ESI foram usados como maior frequência, aparecendo em mais de 50 artigos (Figura 7). Os indicadores emergéticos são os primeiros desenvolvidos, além de serem muito úteis para avaliar um sistema em termos ambientais, econômicos e de sustentabilidade (WANG *et al.*, 2019). O indicador ELR mede o impacto do sistema sobre o ambiente, ao passo que EYR é a capacidade de rendimento de energia do

sistema e Tr. reflete a quantidade de energia que se precisa para fazer uma unidade de produto ou serviço.

Figura 7 – Indicadores em energia classificadas de acordo com a frequência ( $\geq 3$ ) de seu uso nos artigos publicados entre o período de 2001 a 2019.



ELR= razão de carga ambiental; EYR= razão de rendimento emergético; Tr= transformidade; R= renovabilidade; ESI= índice de sustentabilidade em energia; EIR= razão de investimento em energia; EER= razão de troca de energia; ED= densidade de energia; ESR= índice de autossuficiência energética; EISD= índice de energia para o desenvolvimento sustentável; NRE= eficiência de recursos não renováveis; EBR= taxa de benefício de energia. Fonte: Elaborado pelo auto (2021).

## 2.5 DISCUSSÃO

Embora as primeiras publicações no que hoje é conhecido como a síntese em energia (SE) tenha iniciado em 1987, o aumento das publicações, de uma maneira geral, inicia-se a partir dos anos 2000. Segundo Chen *et al.*, (2016) o avanço das publicações em síntese de energia está relacionado ao referencial metodológicos publicado no livro “Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making”. Assim, embora a SE seja aplicada para avaliar diferentes tipos de sistemas (econômicos, processos industriais, serviços entre outros) sua utilização para avaliar agrossistema também mostra uma tendência de aumento positivo entre o ano de 2001 a 2019. Isto indica a existência de interesse e confiança no setor científico, em usar a abordagem de síntese em energia, para tirar conclusões e adotar decisões relacionadas à sustentabilidade de agrossistemas. Com base nas publicações

avaliadas é possível observar que estudos realizados por diferentes autores consideram que o método de síntese em emergência é robusto, confiável, valioso e com reconhecimento internacional para identificar sistemas sustentáveis (ORTEGA *et al.*, 2002; GIANNETTI *et al.*, 2013; WANG *et al.*, 2019). Sendo assim os estudos que utilizam o método de SE apresentam possibilidade de publicação em periódicos reconhecidos no campo da gestão ambiental como o “Ecological Modelling” e “Journal of Cleaner Production” entre outros (CHEN *et al.*, 2017).

Nos 85 artigos analisados observou-se que 276 autores colaboram nas publicações dentre os quais 10 autores aparecem em 71% das publicações (Tabela 2). A pouca frequência na autoria ou autoria única observada nas publicações avaliadas pode estar relacionada ao fato de que os autores se envolvem com a publicação somente para cumprir com os requisitos acadêmicos de finalização de cursos de pós-graduação, visto que a maioria das instituições envolvidas nas publicações consultadas são universidades (Figura 4). A pouca frequência ou autoria única é bastante evidente nas publicações oriundas de instituições da China que embora com maior representação nos clusters (Figura 4) apresentam menor quantidade de artigos por autor quando comparado as publicações das instituições brasileiras ou estado-unidenses (Tabela 4). Assim também, as redes de colaboração entre as instituições mostram pequenas agrupações com uma instituição central (Universidade) com não mais de três associados próximos. A Unicamp que aparece com a maior colaboração em artigos publicados (13) só manteve uma estreita colaboração com a Embrapa. Este padrão restrito de distribuição poderia ser uma limitação para que o método se difunda e faça parte em um nível estratégico e operacional de instituições que influenciam as políticas públicas. Nesse sentido Chami *et al.* (2020) relata que na agricultura ainda não atingimos um nível de interdisciplinaridade onde os conhecimentos e os métodos se integram para enfrentar os desafios de uma agricultura sustentável. Isto sugere que se quisermos tornar mais visível o método de síntese em emergência é necessário aumentar a colaboração interinstitucional, uma vez que este é um instrumento valioso para a formulação de políticas públicas encaminhadas a desenvolver sistemas de produção com maior nível de sustentabilidade. Segundo Bellen (2004) o reconhecimento internacional das métricas que avaliam a sustentabilidade é um passo importante para orientar a diferentes atores na gestão ambiental.

Também, o cluster principal, na rede de relações entre as palavras-chave, é formado pela “análise de emergia”, “sustentabilidade”, “agricultura” e “sustentabilidade ambiental” entre outras, mostra que o método de síntese em emergia fornece procedimentos analíticos com importantes técnicas para medir a sustentabilidade de agrossistemas. Além disso, a China e Brasil referenciam a importância desses países na aplicação do método. Segundo Hou *et al.* (2015), com as palavras-chave dos artigos pode-se ter uma boa indicação do foco e as tendências de pesquisa, assim como mostrar-se a estrutura interna do raciocínio do autor.

Por outro lado, os resultados mostram que a síntese em emergia pode ser complementada com outras abordagens. Assim destaque-se o uso de indicadores (receita bruta e líquida, lucratividade e rentabilidade) oriundos da análise econômica e úteis para avaliar agrossistemas, quando além de desejar atender os requisitos ambientais também se requer que se garantam os benefícios econômicos (AMIRI *et al.*, 2019). Segundo Ulgiati *et al.* (2006) não existe uma única solução que seja ótima para avaliar os vários tipos de problemas ambientais, o que leva à necessidade de adaptar métodos de avaliação multicritérios como diversidade de indicadores. Sendo assim a utilização de vários métodos para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas é necessária e útil para ter maior consistência na tomada de decisão sob qual sistema promover.

## 2.6 CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que as publicações de artigos científicos, utilizando o método de síntese em emergia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas, apresenta uma tendência de crescimento. O Brasil e a China têm a liderança tanto em número de artigos como em instituições envolvidas nas pesquisas. Contudo, os Estados Unidos estão representados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), que tem uma ativa colaboração com instituições da China.

A análise das publicações sobre “Síntese em Emergia” possibilitou verificar que essa abordagem pode integrar com outros métodos de análises, como por exemplo, as análises econômicas, ampliando a abrangência da avaliação de um determinado agroecossistema.

As publicações mostraram que existe reduzida interação entre os pesquisadores, que formam pequenos clusters de colaboração amparados



principalmente por universidades. Este fator mostra a necessidade de haver a vinculação entre as universidades, conhecedoras do método de síntese em energia, com empresas estatais dos governos relacionadas com a agricultura, para que a ferramenta metodológica da Síntese em Energia possa ser integrada na prática e norteie o desenvolvimento de políticas públicas para o desenvolvimento de agrossistemas sustentáveis.

### 3 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DE PROPRIEDADES EM AGRICULTURA FAMILIAR NA SERRA CATARINENSE

#### 3.1 RESUMO

A agricultura familiar constitui-se em um modo de vida e base de agriculturas que tem garantido alimentos na crescente população mundial, além da própria subsistência da família residente. Porém, a intensificação dos processos produtivos em vista de, prioritariamente, gerar excedentes exportáveis, tomou como base o constante “input” de insumos industriais, de baixa viabilidade socioeconômica local. Este estudo tem como objetivo avaliar a sustentabilidade de propriedades de agricultores familiares empregando métricas que abordem aspectos ambientais e socioeconômicos. O estudo foi realizado em seis propriedades familiares localizadas na Mesorregião Serrana, Santa Catarina, Brasil, tipificadas segundo seu manejo e representatividade da atividade agropecuária em: convencionais grãos-bovinos, leite-grãos, grãos e diversificada; e de base ecológica em agroecológica e orgânica. Para discutir sobre a sustentabilidade das propriedades familiares avaliadas, são empregadas as métricas de síntese em energia, energia incorporada, potencial de ecotoxicidade e indicadores socioeconômicos. Os resultados demonstram que a Propriedade Convencional Diversificada tem o melhor desempenho geral, incluindo os indicadores de rendimento emergético (EYR 1,88), razão de investimento emergético (EIR 1,13), rentabilidade (1,22) renda por hora de trabalho (36,6 R\$/h) e suficiência de renda (3,3). Por outro lado, Propriedade Agroecológica e Orgânica apresentam melhor desempenho na renovabilidade (76% e 75%), carga ambiental (ELR= 0,32 e 0,34), sustentabilidade (ESI= 4,78 e 3,5), potencial de ecotoxicidade (1,736 e 1,579 kg 1,4 DCB-eq/ha) e menor requerimento bruto de energia por quilograma de produto (RBE=0,59 e 1,14).

**Palavras-chave:** Agroecologia; Energia; Convencional; Indicadores.

#### 3.2 INTRODUÇÃO

Agrossistemas de pequena escala são estratégicos no fornecimento de alimentos para uma população crescente e sua segurança alimentar e nutricional (PEREIRA, 2018). Estudos mostram que, em termos globais, pequenos agricultores

com propriedades de até 50 hectares produzem entre 62 a 66% de alimentos em 25% da área bruta cultivada, além de apresentar as menores perdas na pós-colheita em relação aos médios e grandes agricultores (RICCIARDI *et al.*, 2018). Neste contexto, é evidente que pequenos agricultores caracterizados por desenvolver a agricultura de tipo familiar em pequena escala são fundamentais para a manutenção da segurança alimentar e nutricional de um país (BENJAMIN, 2015).

A intensificação na produção de alimentos pós “Revolução Verde” tem sido baseada na premissa da maximização produtiva, tendo os recursos naturais como infinitos e sem considerar sua taxa de recuperação (BOSS *et al.*, 2017). Desta forma, nas últimas décadas, tornou-se evidente que a intensificação dos sistemas de produção de alimentos, pela adoção crescente de insumos industriais é insustentável sob o ponto de vista da exaustão de recursos não renováveis (FARIA, 2014). Na perspectiva de frear e ou reverter a degradação ambiental e social no setor agrícola, torna-se evidente que, pelo menos, a permanência dos atuais agricultores familiares e seu papel estratégico na produção de alimentos passa pela formulação de políticas públicas voltadas para a viabilização socioeconômica da agricultura familiar em base ao limite dos recursos naturais internos que a eles dependem (HENDRICKSON *et al.*, 2008). Portanto, embora a agricultura familiar seja considerada um importante pilar mundial, na produção de alimentos, sua sustentabilidade é geralmente vulnerável às condições ambientais e socioeconômicas do país (RICCIARDI *et al.*, 2018; TILMAN, 2011). Segundo Dreby *et al.* (2017), o agricultor familiar opera em um paradoxo de ser socialmente valorizado sendo suportado com rendimentos econômicos mínimos como para manter seu modo de vida baseado na agricultura de baixo impacto ambiental.

Na Mesorregião Serrana, localizada no estado de Santa Catarina, Brasil, tipicamente ocupada, em décadas passadas, por pecuária extensiva, ainda subsiste a agricultura familiar de pequena propriedade (OLIVEIRA, 2016). Atualmente, de modo contrastante, 65% dos estabelecimentos agropecuários são de agricultura familiar e respondem por mais de 50% da produção agropecuária da região com apenas 17% das terras cultiváveis (IBGE, 2017). A região apresenta ainda elevados índices de produtividade por área, em relação a outras regiões Brasileiras em culturas como o feijão e soja (Epagri-CEPA, 2019). No entanto, esses valores produtivos são o resultado de uma intensificação dos sistemas de produção, onde mais de 70% das propriedades rurais são dependentes de fertilizantes industriais e agrotóxicos,

números que aumentam para 75% em propriedades familiares, sendo 2,2 vezes maior que a média brasileira (IBGE, 2017).

Nesta região, aspectos culturais têm influenciado o desenvolvimento de sistemas de produção familiar, caracterizados, também, por terem diferentes atividades agropecuárias, com predominância nos modelos de produção convencional (OLIVEIRA, 2016). Entretanto, a sustentabilidade destas propriedades familiares torna-se um tema de interesse crescente, dado o atual cenário de colapso de sistemas de produção baseados em fontes fósseis. Isto faz necessário considerar modelos conceituais de sustentabilidade, que analisem desde o ponto de vista ecocêntricas e antropocêntricas (KOCJANČIČ *et al.*, 2018). Indicadores esses que poderiam representar o desempenho sistêmico e sustentabilidade das propriedades existentes.

Para uma abordagem antropocêntrica, são necessárias análises socioeconômicas que mostrem se o sistema é economicamente viável e socialmente aceitável, mas também, culturalmente com impactos minimizados (RASUL; THAPA, 2004). Neste sentido, indicadores econômicos podem oferecer uma perspectiva em curto prazo do estado financeiro do sistema. Já os indicadores sociais podem ser direcionados a identificar possíveis problemas como a insuficiência de rendas e ser causa da migração de agricultores para outro sistema econômico por considerá-lo mais lucrativo (JAKLIČ *et al.*, 2014).

A partir da abordagem ecocêntrica, a estimativa da sustentabilidade de sistemas de produção, a médio e longo prazo pode ser realizado através da síntese em emergia (escrita com 'm') (GIANNETTI *et al.*, 2013). Segundo Odum (1996), a emergia é definida como “energia disponível de um tipo que foi previamente utilizada diretamente e indiretamente para fazer um serviço ou produto”. Esta métrica permite quantificar diferentes tipos de fluxos (massa, dinheiro e energia) que entram num determinado sistema e se transforma numa mesma unidade, denominada joules de energia solar “sej”, do inglês “*solar equivalente joule*” (BROW; ULGIATI, 2004b). Outro indicador com bases ecocêntricas para avaliar sistemas agrícolas familiares é a ecotoxicidade, que considera a utilização de agrotóxicos como parte inerente dos pacotes tecnológicos. Nessa circunstância, a avaliação de riscos ecológicos de substâncias químicas introduzidas em um sistema de produção torna-se imprescindível (LIM; SCHOENUNG, 2010).

Este estudo objetivou avaliar a sustentabilidade de diferentes sistemas de produção em base familiar localizadas na Mesorregião Serrana Catarinense, SC.

### 3.3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.3.1 Descrição dos sistemas agrícolas estudados

O estudo foi realizado com dados obtido *in loco* em propriedades rurais familiares localizadas na Mesorregião Serrana/Serra Catarinense, estado de Santa Catarina, Brasil (Figura 8). A região pertence ao bioma Mata Atlântica, fitofisionomia Floresta Ombrófila Mista, com clima predominante Cfb de Köppen e temperatura média anual de 16,5 °C e precipitação média anual de 1.600 mm (PANDOLFO *et al.*, 2002). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE (2017), na Mesorregião Serrana o 65% dos estabelecimentos agropecuários são considerados como de agricultura familiar com uma área média de 21 hectares. As principais atividades agropecuárias correspondem a lavouras temporárias (81%), com o cultivo de milho, soja e feijão, enquanto que a criação de bovinos de corte e leite está presente em 90% das propriedades rurais.

Figura 8 – Mapa do Brasil com destaque para a localização da Mesorregião Serrana/Serra Catarinense, Estado de Santa Catarina, Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Para o presente estudo foram consideradas seis propriedades rurais familiares indicadas pelo serviço de extensão da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Lages (Epagri-Lages), por serem representativas das principais atividades agropecuárias da região da Serra Catarinense. A classificação da propriedade rural familiar foi realizada de acordo como o estabelecido no Decreto 9.0064/17 (BRASIL,

2017), que regulamenta a Lei da Agricultura Familiar. Dados foram coletados através de visitas nas propriedades e entrevistas ao proprietário com apoio de extensionistas da Epagri-Lages. As propriedades foram caracterizadas em seis tipologias conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5 – Descrição das tipologias e principais características das propriedades rurais familiares avaliadas.

Propriedade/ Tipologia	Área em ha	Caraterísticas das atividades agropecuárias
Convencional- Grãos+Bovino	36	Lavouras temporárias com grãos (soja, milho e feijão). Pecuária com bovino para corte.
Convencional- Leite+Grãos	27	Lavouras temporárias com grãos (soja, milho, feijão). Pecuária com bovinos para leite.
Convencional- Grãos	9,5	Lavouras temporárias com grãos (milho, feijão).
Convencional- Diversificada	23	Lavouras temporárias com grãos (milho, feijão). Horticultura. Pecuária com bovino para corte e abelhas (mel), frutais (pinhão).
Agroecológica	35	Lavouras temporárias com milho e feijão. Horticultura. Pecuária com bovinos para leite/queijo e abelhas (mel). Lavouras permanentes com frutais (limão laranja, pinhão).
Orgânica	6	Horticultura. Lavouras temporárias com feijão, moranga e alho.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Assim temos: Propriedades rurais convencionais baseadas em pacotes tecnológicos dependentes de agroquímicos e destacando seus principais focos de produção (1) Convencional-Grãos+Bovino, (2) Convencional-Leite+Grãos, (3) Convencional-Grãos, aquela com integração de diferentes atividades agropecuárias (4) Convencional Diversificada, aquelas de base ecológica com produção diversificada que integram práticas de reciclagem de nutrientes, manejo integrado de pragas, e que cumprem com normas de certificação orgânica, (5) Agroecológicas, considerando aspectos sociais e culturais e (6) Orgânica, atendendo estritamente a certificação orgânica. As características de cada uma das propriedades permitem realizar comparações entre as diferentes tipologias dos sistemas de produção, através de métricas de análise de sustentabilidade.

### 3.3.2 Avaliação da sustentabilidade das propriedades rurais familiares

O modelo conceitual de sustentabilidade segue a lógica “Input-State-Output”, pois considera os agrossistemas de base familiar como sendo sistemas termodinâmicos, abertos a entrada de energia e matéria (Figura 9). Nessa abordagem são utilizados indicadores capazes de representar as três principais dimensões da sustentabilidade, a ambiental, a econômica e a social, garantindo a capacidade informativa e complementar de cada uma delas (PULSELLI *et al.*, 2011; 2015).

A importância do modelo adotado está na possibilidade de escolha de indicadores que no final refletem na sustentabilidade do sistema avaliado. Assim se considerou na avaliação uma perspectiva ecocentrista, utilizando as métricas de energia, energia incorporada, complementado com análises do potencial de ecotoxicidade e antropocentrista com indicadores socioeconômicos (Figura 9).

Figura 9 – Modelo conceitual de sustentabilidade entrada-estado-saída (“input- state-output”) mostrando os indicadores utilizados.



Fonte: Adaptado de Pulselli *et al.* (2011; 2015)

A fronteira para determinar os fluxos de entradas e saídas, para este estudo, foi considerada a propriedade familiar com todas suas atividades agropecuárias. Entretanto, as distintas variáveis avaliadas são relacionadas por unidade de área (hectare) da propriedade.

Os indicadores das métricas foram calculados pela inclusão e exclusão de mão-de-obra familiar, a fim de verificar variações nos resultados. Segundo Agostino e Ortega (2012), a contabilidade da mão-de-obra familiar é um tema complexo, mas necessário quando se avaliam pequenas propriedades que dependem do trabalho familiar para produzir. Esta abordagem é importante no contexto da Serra Catarinense, considerando que segundo dados do IBGE (2017), 65% das propriedades familiares se desenvolvem, utilizando só mão de obra familiar. Outros

autores, também, ressaltam a importância de estimar as contribuições do trabalho da família no sistema de produção agropecuário (CRISTIANO, 2001; JAKLIČ *et al.*, 2014; ORTEGA *et al.*, 2005).

### 3.3.2.1 Síntese em energia

A Síntese em Energia foi desenvolvida por Odum (1996), com contribuições de Brown e Ulgiati (2004b) e Ortega *et al.* (2002) que incluem as renovabilidades parciais de alguns “inputs”. Segundo Agostinho *et al.* (2019) essa abordagem é útil quando o sistema em avaliação utiliza materiais e mão de obra da economia local, que podem ser renováveis ou parcialmente renováveis. Diferentes estudos têm utilizado esta abordagem, considerando-o importante quando se avaliam sistemas de produção complexos (AGOSTINHO; ORTEGA, 2012; ULGIATI; BROW, 2014). As porcentagens de renovabilidade utilizados em este estudo foram adquiridas de publicações científicas e estão disponíveis no Apêndice B. Os fluxos de energia, considerando as renovabilidades parciais dos materiais e serviços, foram classificados segundo se mostra na Tabela 6.

Tabela 6 – Classificação dos fluxos de energia considerando as renovabilidades parciais dos materiais e serviços.

Fluxo de energia	Descrição
I- Contribuição da Natureza	$I = R + N$
R: Recursos naturais renováveis	Chuva, materiais e serviços de áreas preservadas, nutrientes de solo, ar.
N: Recursos naturais não renováveis	Solo
F- Contribuição da Economia	$F = M + S$
M: Materiais	$M = M_r + M_n$
Mr: Materiais e energias renováveis	Materiais renováveis de origem natural
Mn: Materiais e energias não renováveis	Minerais, químicos, aços, combustível
S: Serviços	$S = S_r + S_n$
Sr: Serviços renováveis	Mão-de-obra suportada por fontes renováveis
Sn: Serviços não renováveis	Serviços, custos, seguros, etc.
Y: Energia total	$Y = I + F$

Fonte: Adaptado de Ortega *et al.* (2005).

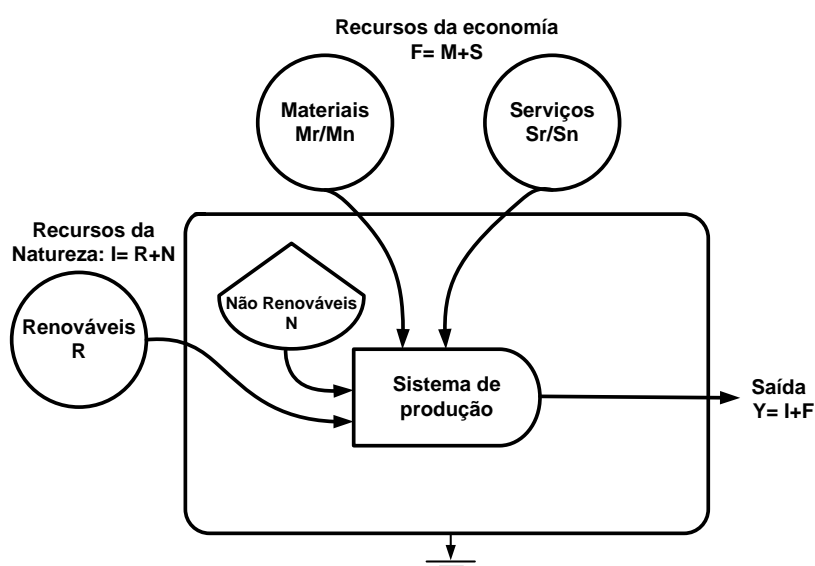


O procedimento de avaliação constou de três etapas principais: (a) Elaboração do diagrama sistêmico; (b) Elaboração das tabelas de contabilidade emergética, que contabiliza todos os fluxos de entrada e os transforma em “sej” e (c) Cálculo dos indicadores emergéticos. Cada uma das etapas é explicada abaixo:

#### (a) Elaboração do diagrama de sistêmico

Após a visita de cada propriedade familiar, foi elaborado seu diagrama sistêmico de energia, que fornece uma visão geral das entradas e ligações diretas e indiretas dos processos naturais e econômicos. No diagrama, os fluxos são ordenados de esquerda à direita iniciando com os renováveis (R) seguidos pelos da economia (M e S) e terminando com as saídas. O modelo genérico do diagrama de energia está disposto na Figura 10.

Figura 10 – Modelo genérico de um sistema de produção.



Mr: materiais renováveis; Mn: materiais não renováveis; Sr: serviços renováveis; Sn: serviços não renováveis. Fonte: Adaptado de Ortega *et al.* (2002).

#### (b) Elaboração das tabelas de contabilidade emergética

Uma vez inventariados todos os fluxos que atravessam as fronteiras do sistema (propriedade) foram elaboradas as tabelas de energia. Os valores brutos dos fluxos foram convertidos na unidade padrão denominada “joules de energia solar” (sej) multiplicando cada fluxo de entrada pelo seu valor unitário de energia (UEV) disponíveis na literatura e não incluem “labor and service”. As UEV selecionadas foram aquelas que melhor representaram o sistema em estudo (Apêndice A.C) e em

caso necessário atualizadas na linha base 12,1E24 sej (BROWN; ULGIATI, 2016). Na Tabela 7 é apresentado o modelo de uma tabela cálculo emergético utilizada neste estudo. Na tabela os fluxos são agrupados em renováveis e não renováveis da natureza (I) e aqueles vindos da economia (F), divididos em materiais (M) e serviços (S).

Tabela 7 – Modelo de uma tabela de avaliação em Energia.

(1) Item	(2) Renovabilidade	(3) Unid.	(4) Fluxo de energia	(5) UEV	(6) Fluxo de energia	(7) % Y
I- Contribuição da natureza						
R: Recursos da natureza renováveis						
N: Recursos da natureza não renováveis						
F- Fluxos da economia						
M: Materiais da economia						
S: Serviços						
Energia total ( $Y=I+F$ )						

(1) Fluxo de entrada; (2) Porcentagem de renovabilidade do fluxo de entrada; (3) Unidade de medida; (4) Fluxo de energia utilizada pela propriedade (J/ha, g/ha, R\$/ha, l/ha); (5) Valor unitário de energia (sej/J, sej/kg, sej/l, sej/R\$); (6) Resultado da multiplicação da coluna 4 e 5; (7) Porcentagem de fluxo de energia em relação ao total. Fonte: segundo informações de Odum (1996) e Brown e Ulgiati (2004a).

### (c) Cálculo dos indicadores emergéticos

Após a elaboração das tabelas, foram calculados os indicadores em energia os quais fornecem informação das relações entre os fluxos emergéticos que sustentam o sistema de produção (R, N, M e S) como suporte para as discussões do desempenho das propriedades. Para este estudo foram utilizados os indicadores tradicionais propostos por Odum (1996) e Brown e Ulgiati (2004a). As equações utilizadas para o cálculo estão descritas na Tabela 8. A seguir, dispõe-se de breve descrição de cada indicador:

**Valor unitário de energia (UEV):** este indicador avalia a energia solar necessária para produzir uma unidade de saída de um sistema (LU *et al.*, 2010). Na comparação de sistemas, aquele com menor valor de UEV significa que tem maior eficiência energética por unidade de saída (energia, massa ou dinheiro).

**Renovabilidade (%R):** representa a porcentagem de energia renovável que entra no sistema em relação a energia total. Com este indicador, também, é possível visualizar a sustentabilidade de um sistema em longo prazo, sendo que prevaleceram aqueles

com maior porcentagem de renovabilidade (BROWN; ULGIATI, 2004b). Para esse estudo, o cálculo da renovabilidade foi considerado nas porções renováveis dos materiais e serviços (M e S).

**Razão de Rendimento Emergético (EYR):** o EYR fornece informação sobre a capacidade do sistema em explorar recursos locais. Quanto maior o valor de EYR significa que o sistema tem maior capacidade para explorar recursos naturais renováveis locais. Portanto, sistemas com valor de EYR de 1 (menor valor possível) indicam que seus processos são incapazes de explorar de forma eficiente os recursos naturais locais (BROWN; ULGIATI, 2004a).

**Razão de Investimento Emergético (EIR):** o EIR avalia a eficiência do sistema em utilizar a energia da economia para impulsionar seus processos de desenvolvimento local. Quanto mais baixo o valor do EIR significa maior eficiência na alocação de recursos econômicos (AGOSTINO *et al.*, 2019).

**Razão de Carga Ambiental (ELR):** o indicador ELR avalia a pressão que o sistema exerce sobre o ambiente local. De acordo com Brown e Ulgiati (2004a) ELRs <2 indica baixo impacto ambiental, ELRs entre três e dez indicam que o sistema de produção tem um impacto ambiental moderado e ELRs maiores que dez indicam um elevado impacto no ambiente. Para esse estudo, o cálculo do ELR foi feito considerando as porções renováveis dos materiais e serviços (M e S).

**Sustentabilidade em Emergência (ESI):** O ESI é uma medida agregada da contribuição potencial de energia (EYR) por unidade de carga imposta no sistema local (ELR). Valores entre um e 10 indicam que o sistema em estudo tem contribuições líquidas para a sociedade sem afetar fortemente seu equilíbrio ambiental e valores menores que um indicam que o sistema esgotará recursos rapidamente além de causar impactos ambientais adversos (BROWN; ULGIATI, 2004a).

Tabela 8 – Indicadores emergéticos utilizados neste estudo.

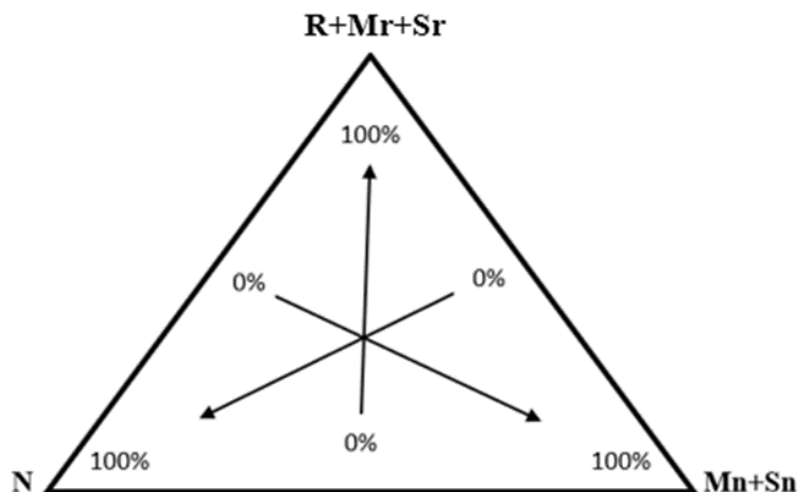
Indicador	Equação	Descrição
Valor Unitário de Emergia (UEV)	$UEV = Y/Saída$	Determina a emergia utilizada no sistema por unidade de produto (saída).
Renovabilidade (%R)	$\%R = 100 \times (R+Mr+Sr)/Y$	A proporção de emergia renovável em relação ao uso total de emergia.
Razão de Rendimento Emergético (EYR)	$EYR = Y/F$	Razão entre o uso total de emergia e a emergia investida do sistema econômico.
Razão de Investimento Emergético (EIR)	$EIR = F/(R+N)$	Razão entre os recursos da economia pela emergia da natureza.
Razão de Carga Ambiental (ELR)	$ELR = (N+Mn+Sn)/(R+Mr+Sr)$	Proporção do uso de emergia não renovável pela renovável.
Sustentabilidade em Emergia (ESI)	$ESI = EYR/ELR$	Definido como a proporção de EYR e ELR.

Fonte: Adaptado de Odum (1996); Brown e Ulgiati (2004a).

Os resultados dessa análise servem como suporte para as discussões do desempenho emergético das tipologias de propriedades familiares analisadas. Os dados utilizados para o cálculo dos indicadores estão apresentados no Apêndice B.

O *desempenho ambiental das propriedades estudadas*, que descreve de maneira geral o desempenho das propriedades familiares, considerou o diagrama ternário (Figura 11). O uso do diagrama ternário na avaliação em emergia é proposto por Giannetti *et al.* (2006). No presente trabalho, representaram-se, graficamente, as proporções utilizadas dos fluxos emergéticos renováveis ( $R+Mr+Sr$ ), recursos naturais não renováveis (N) e materiais e serviços não renováveis ( $Mn+Sn$ ). As propriedades são representadas com pontos dentro do triângulo e sua localização representa a combinações ternárias da proporção relativa dos três componentes (R, N e F) (Figura 11).

Figura 11 – Modelo de um diagrama ternário para energia.



Fonte: Adaptado de Giannetti *et al.* (2006).

### 3.3.2.2 Análise de energia incorporada

A análise da energia incorporada é realizada de acordo com as metodologias descritas na literatura (CAVALETT; ORTEGA, 2010; FRANZESE *et al.*, 2009; HERENDEN, 1998). Nessa análise, todos os insumos são quantificados na unidade Kg ou energia (kWh) e multiplicados por seus coeficientes de intensidade de energia incorporada (MJ<sub>eq</sub>/unidade). Os coeficientes utilizados representam a quantidade de MJ que foi requerido em cada unidade de Kg ou energia (kWh) (Apêndice E).

**Em nosso estudo utilizaram-se os seguintes indicadores:**

- (a) **Requerimento Bruto de Energia (RBE):** Fornece informação sobre a quantidade de energia que foi incorporada por hectare por ano na propriedade (MJ/ha). Resultado da multiplicação dos fluxos de entrada por hectare por ano pela intensidade energética de cada fluxo. Também, foi calculado o RBE por unidade de saída (MJ/kg), dividendo a energia incorporada no sistema de produção pela produtividade da propriedade (Tabela 9).
- (b) **Retorno de Energia sobre o Investimento (EROI):** Fornece informação sobre a relação da energia entregue pelo sistema de produção (propriedade) e a energia que foi necessária para produzir essa energia entregue. O cálculo foi feito dividendo a energia que sai da propriedade pela energia que entra na propriedade (EROI= MJ<sub>out</sub>/MJ<sub>in</sub>).

Os cálculos de energias incorporadas nas propriedades foram feitos de acordo ao modelo da Tabela 9.

Tabela 9 – Modelo da tabela para avaliação de energia incorporada.

(1) Item	(2) Unid	(3) Fluxo de entrada (unid/ha)	(4) Intensidade energética (MJ <sub>eq</sub> /unid)	(5) Energia incorporada (MJ/ha)	(6) Energia incorporada (MJ <sub>eq</sub> /kg)	(7) %
Entrada						
(1) Nome do insumo (fluxo); (2) Unidade utilizada; (3) Quantidade do fluxo que entrada na propriedade (kg/ha); (4) Quantidade de MJ incorporado em cada unidade de entrada; (5) Resultado da multiplicação da coluna 3 e 4; (6) Resultado da divisão da coluna 5 pela produtividade da propriedade (kg/ha); (7) Porcentagem de energia incorporada em relação ao total. Fonte: elaborado pelo autor (2022).						

### 3.3.2.3 Análise do potencial de ecotoxicidade

O Potencial de Ecotoxicidade (PET) representa a contribuição potencial de uma substância para a toxicidade do sistema em relação a uma quantidade unitária de uma substância de referência (LIM; SCHOENUNG, 2010). O potencial de ecotoxicidade (PET) incluiu os efeitos dos ingredientes ativos (I.A.) dos pesticidas e de metais pesados nos adubos minerais, orgânicos e nos pesticidas que entraram na propriedade. A informação dos ingredientes ativos é adquirida diretamente da bula dos agrotóxicos e expressada em gramas por hectare (g/ha). Os valores de concentração de metais pesados para pesticida e adubo mineral são obtidos de Zoffoli *et al.* (2013) e Gonçalves *et al.* (2015), para adubo orgânico (cama de aviário) de Parente *et al.* (2018) e Souza *et al.* (2019). Os metais pesados considerados neste estudo são: Cadmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Cromo (Cr) (Tabela 10).

O cálculo do PET é realizado segundo Margni *et al.* (2002) no qual os valores de cada I.A. e metal pesado são transformados em substância de referência, por meio da multiplicação de um fator de caracterização. A substância química de referência utilizada neste estudo é o 1,4-diclorobenzeno-equivalente (1,4 DCB-eq) e os resultados expressados em kg de 1,4 DCB-eq. Essa substância química tem sido usada como referência de ecotoxicidade na produção convencional e orgânica de maçã (ZHU *et al.*, 2018), na produção convencional e orgânica de tomate (HE *et al.*, 2016) e na produção de trigo e milho (CUI *et al.*, 2018).

Os valores de 1,4 DCB-eq, para cada substância química (ingrediente ativo e metais pesado) foram extraídos de Huijbregts *et al.* (2000) e disponibilizados no Apêndice C.

Tabela 10 – Teor de metais pesados ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em pesticidas e adubos orgânicos e sintéticos.

Produto	Cadmio (Cd)	Chumbo (Pb)	Cobre (Cu)	Zinco (Zn)
Pesticida	0,30	27	20,8	908
Adubo mineral (NPK)	3,7	32,1	20	83
Ureia	5	18	sd	sd
Cama de aviário	0,55	6	94,4	146

sd: sem dados. Fonte: segundo dados de Zoffoli *et al.* (2013), Parente *et al.* (2018); Gonçalves *et al.* (2015)

#### 3.3.2.4 Análise socioeconômica

O desempenho financeiro das propriedades é realizado pela análise econômica de custos e receitas. Os valores (em R\$) dos insumos e das vendas foram fornecidos pelo próprio agricultor e correspondem aos preços de mercado regional/nacional (de venda efetiva), em 2019. Para análise, são considerados os preços de todos os insumos utilizados no sistema de produção (combustíveis, eletricidade, sementes, fertilizantes, pesticidas, mão-de-obra contratada, e outros serviços) e expressados em  $\text{R\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . O valor pago pela mão-de-obra familiar foi estimado em R\$ 90,00 por jornada de 8 horas, sendo este o valor que os agricultores pagam quando contratam mão-de-obra externa à propriedade. Nos custos anuais são incluídos os valores anuais de depreciação dos ativos fixos (maquinarias, infraestruturas).

#### Indicadores econômicos

- ✓ Receita líquida ( $\text{R\$ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ): As receitas representam a quantidade de dinheiro recebida pelo agricultor depois que todos os custos foram pagos.  
Receita Líquida = Receita bruta – Custos totais.
- ✓ Rentabilidade: Compara o lucro final com os investimentos realizados.  
Rentabilidade =  $(\text{Receita líquida} / \text{custos totais}) \times 100$ .
- ✓ Lucratividade (%): Compara o lucro final da empresa com o faturamento das vendas.  
% Lucratividade =  $(\text{Receita líquida} / \text{Receita bruta}) \times 100$ .

## Indicadores sociais

O critério social foi referenciado em base a suficiência de rendas para o agricultor. Sendo que rendas insuficientes levam à dependência financeira dos agricultores de outros sistemas econômicos e a migração de pessoas do campo para as cidades. Considerou-se a mesma abordagem de Jaklič *et al.* (2014), os quais utilizaram os indicadores (a) renda por horas de trabalho (R\$ por hora de trabalho familiar) e (b) suficiência de renda, para analisar aspectos sociais na sustentabilidade de propriedades produtoras de leite. Esses indicadores estão descritos a seguir:

- ✓ **Renda por hora de trabalho (R\$/h):** Este indicador traz o sentido de suficiência de receita líquida para um padrão de vida aceitável. Considerando como mínimo aceitável piso salarial de R\$ 1281,00 mensal, segundo a lei complementar nº 771, de 17 de março de 2021 para o Estado de Santa Catarina na categoria da agricultura e a pecuária. Cálculo: Receita líquida por horas de trabalho (horas de trabalho próprio).
- ✓ **Suficiência de renda:** é calculado pela razão entre a mão-de-obra familiar, totalmente paga, com a receita obtida das vendas e o total de mão-de-obra investida na propriedade.

### 3.3.3 Análise comparativo entre as propriedades rurais familiares

Para comparar as propriedades rurais familiares utiliza-se do gráfico radar, contendo os indicadores mais representativos dos métodos aplicados (energia, energia incorporada, ecotoxicidade e socioeconômicos). As comparações diretas entre os indicadores foram realizadas pela normalização de seus valores com a fórmula Z-Score, a qual os transforma em uma escala comum com média zero ( $\mu=0$ ) e desvio padrão um ( $\sigma=1$ ). Todos os indicadores foram considerados com a mesma importância e organizados de forma que o valor mais alto refletisse um desempenho mais desejável. Desta forma a maior área, observada, no gráfico representaria a propriedade com melhor nível de sustentabilidade.

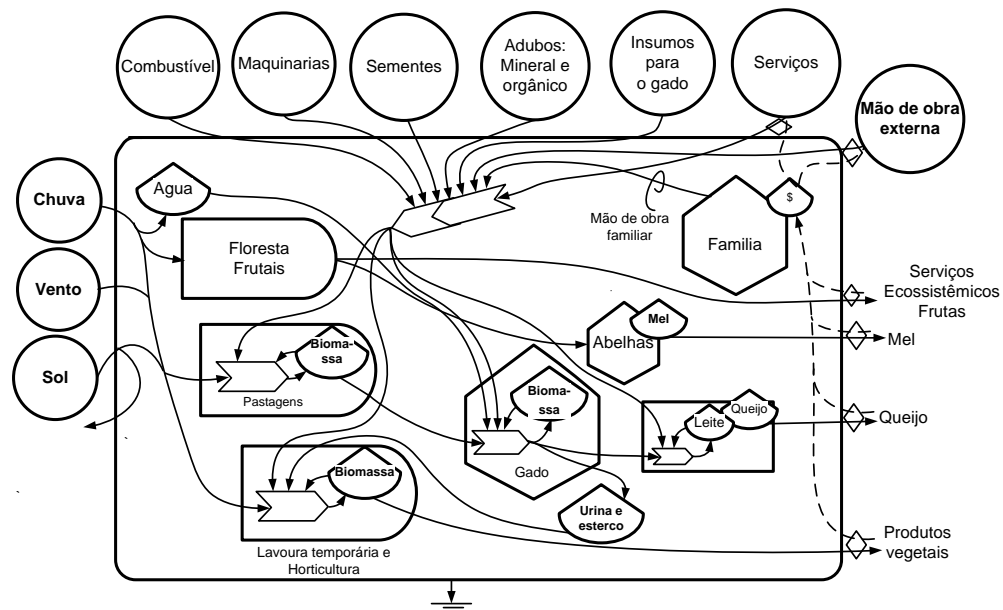


### 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.4.1 Análise da Síntese em energia

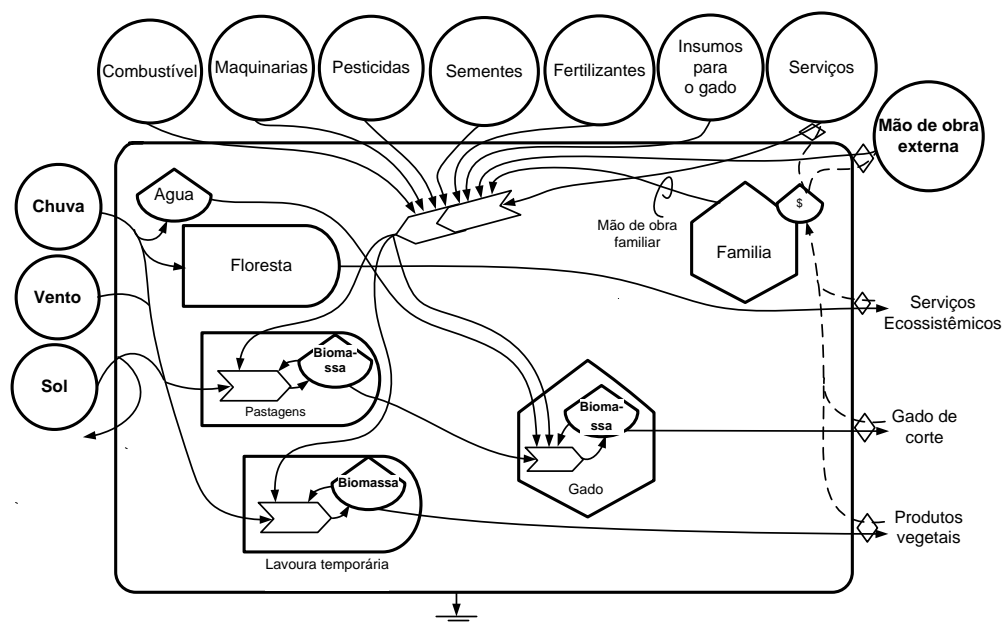
Nos diagramas de energia apresentados nas Figuras 12 a 17 é possível identificar os fluxos de entradas e saídas de energia e matéria, além dos principais subsistemas que são as atividades agropecuárias das propriedades. As entradas de recursos ambientais locais estão no lado esquerdo e os econômicos estão dispostos na parte superior do diagrama. Em geral todos os sistemas se caracterizam por ser intensificados com uso de mão-de-obra familiar a qual é complementada, eventualmente, por mão-de-obra externa. Por outro lado, as propriedades se caracterizam por ter uma produção diversificada que produzem diferentes saídas de produtos agropecuários além de todas as propriedades ter área de florestas que produzem serviços ecossistêmicos. As áreas florestais fornecem energia e biomassa ao subsistema consumidor (gado e abelhas) nas propriedades Agroecológica e Convencional Diversificada, além de apresentar as maiores iterações de fluxos entre os subsistemas lavouras (produtor) e gado (consumidor) (Figura 12 e 16). Entre tanto que nas propriedades Convencionais Leite+Grãos e Grãos+Bovinos o subsistema pastagem fornece de biomassa e energia ao subsistema consumidor (gado) e o subsistema lavouras tem saídas diretas de biomassa e energia incorporada nos produtos vegetais (Figura 13 e 14). Por outro lado, a propriedade Orgânica apresenta a menor quantidade de subsistemas (florestais e lavouras temporárias e hortaliças) com fluxos de saídas diretas de produtos vegetais e serviços ecossistêmicos.

Figura 12 – Diagrama de fluxos de energia da propriedade Agroecológica.



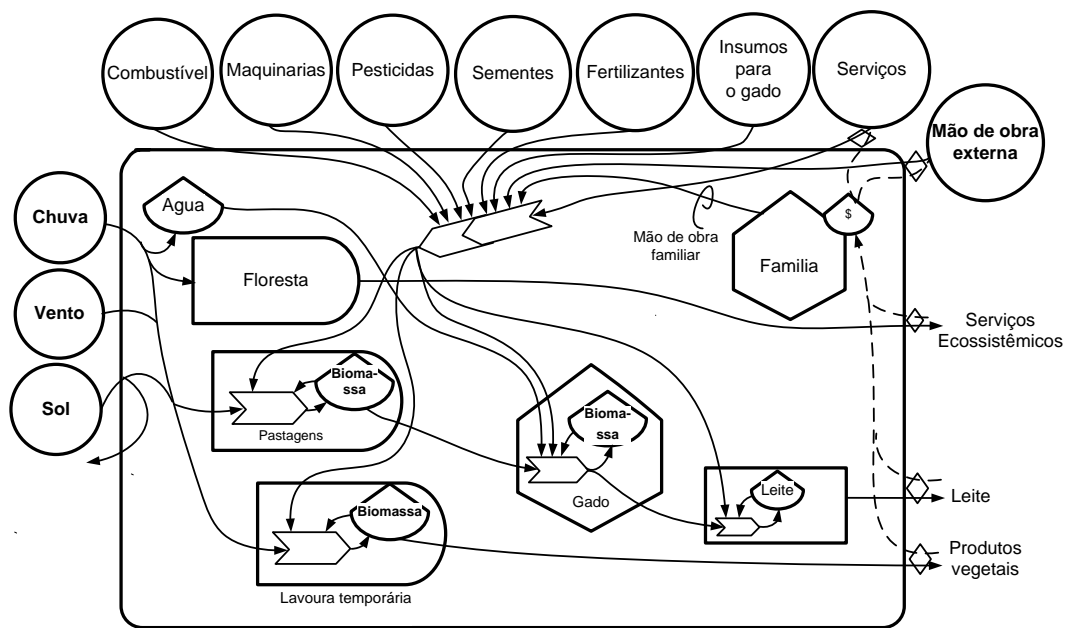
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 13 – Diagrama de fluxo de energia da propriedade Convencional Grãos+Bovinos.



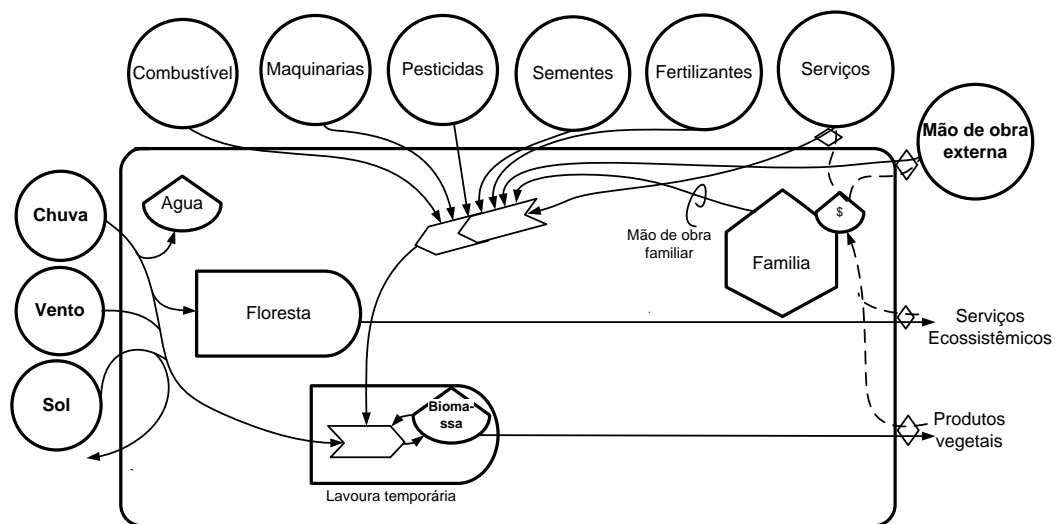
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 14 – Diagrama de fluxos de energia da propriedade Convencional Leite+Grãos



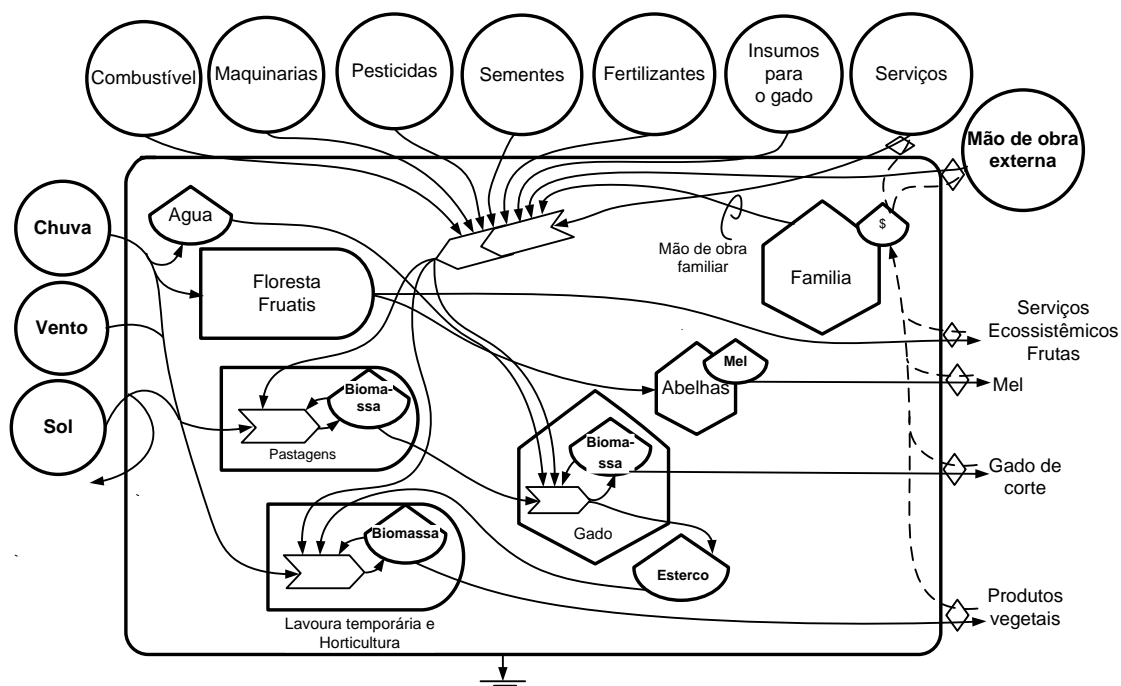
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 15 – Diagrama de fluxos de energia da propriedade Convencional Grãos.



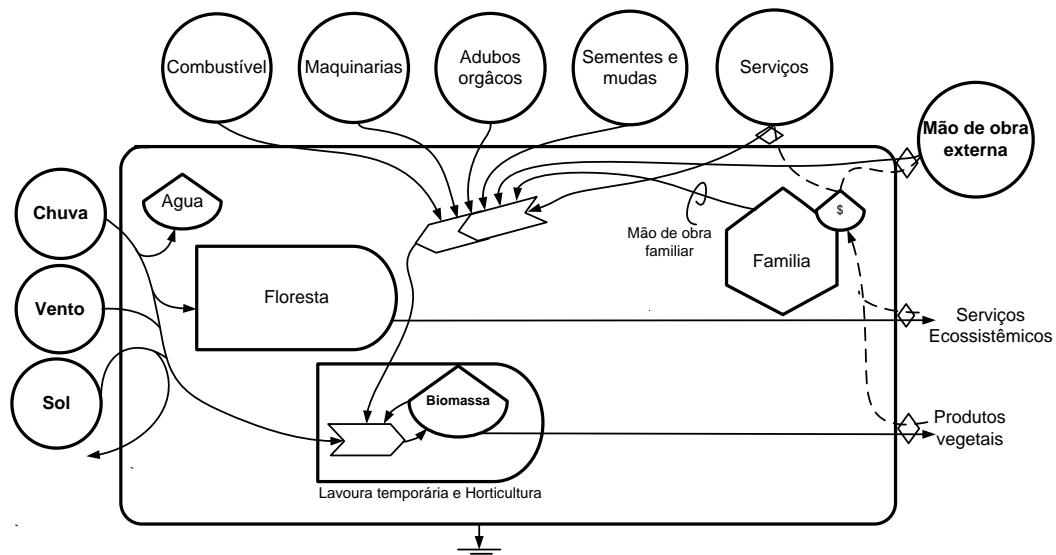
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 16 – Diagrama de fluxos de energia da propriedade Convencional Diversificada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Figura 17 – Diagrama de fluxos de energia da propriedade Orgânica.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Após a elaboração e interpretação dos diagramas de energias, foram construídas e analisadas as tabelas de avaliação emergética. O memorial de cálculo e os dados utilizados estão disponibilizados no Apêndice A e B.

Na Tabela 11, apresentam-se os resultados dos fluxos anuais da emergia em E+12 sej/ha para cada uma das propriedades avaliadas. Neste estudo, as

contribuições dos fluxos renováveis da natureza (R) são consideradas semelhantes em todas as propriedades, sendo que estão localizadas na mesma região. Porém, suas representatividades variam em relação ao fluxo total de energia.

O total de fluxos emergéticos que sustentam as propriedades demonstram um mínimo de 5354,3 (Agroecológica) e máximo de 11834,3E+12 (Orgânica) sej/ha. Cada um dos itens, na Tabela 11, tem representatividade diferente no total de fluxo de energia. Nos materiais (M), o principal fluxo de energia na propriedade Agroecológica é o adubo orgânico (707,0E+12 sej/ha) e na Orgânica o item mudas (994,0E+12 sej/ha), representando o 13 e 8,4% do total da energia, respectivamente. Nas de manejo convencional, a ração (1210,0E+12 sej/ha) constitui o principal fluxo de energia para a Convencional-Leite+Grãos e a ureia (536 e 893E+12 sej/ha) nas Convencional-Grão+Bovino e Convencional-Grãos, representando 15, 9 e 10%, respectivamente, do total de fluxos de energia nessas propriedades.

Por outro lado, a mão-de-obra familiar teve a maior contribuição na propriedade Orgânica, com uma representação de 53% do total de energia (1110,0E+12 sej/ha). Nas Convencionais Leite+Grãos, Grãos e Grão+Bovino a representatividade dos serviços superou a mão-de-obra, com valores de 2440,0 e 2590,0 e 1620,0E+12 sej/ha, representando 30, 30,8 e 27% do total de energia, respectivamente a Conv leite+grãos, Grãos e Grão+Bovino (Tabela 11).

As diferenças nas contribuições percentuais dos fluxos de energia estão relacionadas com as diferentes tipologias e as principais atividades agropecuárias. Propriedades de base ecológica (Agroecológica e Orgânica) são mais dependentes de fontes orgânicas e mão-de-obra (NAKAJIMA; ORTEGA, 2014; LA ROSA, 2008). Entretanto, atividades agropecuárias baseadas em grãos são altamente dependentes de fertilizantes químicos, especialmente, os baseados em NPK, o que contribui de ter uma dependência maior de fluxos emergéticos da economia (ASGHARIPOUR *et al.*, 2019). Esta dependência, embora aumente a produtividade, causa altos impactos ambientais (CAVALETT; ORTEGA, 2010).

Aos sistemas que a utilizam como suplemento alimentar na pecuária de leite, a ração se constitui em um dos principais fluxos de energia. Agostinho *et al.* (2019) encontrou valores de até 53% e Jaklič *et al.* (2014) calcularam valores que atingiram a 30% do total de fluxos de energia, em propriedades com produção de leite.

Tabela 11 – Fluxos de Energia (E12 sej/ha) das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense.

N	Item	P1 sej/ha)	P2 (sej/ha)	P3 (sej/ha)	P4 (sej/ha)	P5 (sej/ha)	P6 (sej/ha)
Recursos renováveis (R)							
1	Sol	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	Chuva	1730,0	1730,0	1730,0	1730,0	1730,0	1730,0
3	Vento	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Não renováveis (N)							
4	Perda de solo	73,0	193,0	170,0	115,0	802,0	323,0
5	Água para o gado	0,1	0,6	0,6	0,0	0,6	0,0
Materiais (M)							
6	Combustível	23,5	72,7	48,9	368,0	68,2	139,0
7	Aço	58,7	53,3	81,4	72,3	84,9	165,0
8	Sementes	0,01	47,2	20,2	0,06	0,1	14,0
9	Sementes transgênicas	0,0	35,7	119,0	0,0	0,0	0,0
10	Mudas	0,0	0,0	0,0	83,7	44,7	994,0
11	Adubo orgânico	707,0	0,0	0,0	0,0	0,0	675,0
12	Calcário	0,0	0,0	250,0	0,0	0,0	0,0
13	Nitrogênio	16,1	64,0	58,9	106,0	35,7	0,0
14	Fósforo	61,7	315,0	249,0	354,0	168,0	0,0
15	Potássio	9,9	77,0	69,8	84,2	170,0	0,0
16	Ureia	0,0	536,0	377,0	893,0	148,0	0,0
17	Herbicida	18,5	162,0	82,2	117,0	42,0	0,0
18	Pesticidas	0,0	0,005	0,06	0,1	0,1	0,0
19	Vacinas	8,8	133,0	22,9	0,0	13,4	0,0
20	Coagulante para queijo	48,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
21	Ração	0,0	0,0	1210,0	0,0	0,0	0,0
22	Elettricidade	24,8	21,7	7,6	97,7	28,2	80,2
23	Concreto	20,6	26,7	26,7	67,4	31,4	0,0
Mão de obra e Serviços							
24	Mão de obra Familiar	2020,0	810,0	1030,0	1600,0	1030,0	6330,0
25	Mão de obra contratada	13,1	35,6	33,9	144,0	0,0	274,0
26	Serviços	520,0	1620,0	2440,0	2590,0	1000,0	1110,0
	Y	5354,3	5933,6	8028,2	8422,56	5397,4	11834,3

P1= Agroecológica; P2= Grãos Bovino; P3= Leite Grãos; P4= Grãos; P5= Diversificada; P6= Orgânica. O item sol não é contabilizado para evitar dupla contagem. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Na Tabela 12, são apresentados os fluxos de energia agregados considerando as porções renováveis de cada “input”. Os fluxos são listados em: fluxos da natureza

(I) renováveis e não renováveis (R e N); fluxos financeiros (F) subdivididos em materiais (M) e serviços (S) e; total de energia (Y).

Em relação às contribuições da Economia (M+S), as propriedades de base ecológica têm maior dependência de fluxos de energias de recursos renováveis dos materiais (M) e serviços (S) que as convencionais. Observa-se que, a maior quantidade de energia está alocada nos serviços, com valores que variam entre o mínimo de 20,35E+14 sej/ha (C. Diversificada) e um máximo de 77,08E+14 sej/ha (Orgânica), representando o 37 e 65% do total de energia. Porém, a propriedade Orgânica tem o 50% (58,58E+14 sej/ha) dessa energia alocada nos serviços renováveis. Em contrapartida, a Convencional-Grãos e a Convencional-Leite+Grãos dependem, respectivamente, de 33% (28,12E+14 sej/ha) e 31% (25,52E+14 sej/ha) de serviços não renováveis.

A incorporação da porção renovável nos materiais e serviços adquiridos a nível local ou regional é adequada para melhorar a análise da Síntese em energia de sistemas de produção (CAVALETT *et al.*, 2006). Segundo La Rosa *et al.* (2008), processos ou sistemas de produção que dependam mais de fluxos de energia renováveis poderão ser mais sustentáveis, e até com maior sucesso na competição econômica, que aqueles que usam recursos emergéticos não renováveis.

Tabela 12 – Fluxos de Energia agregados em E14 sej/ha das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense.

Fluxos de energia	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Renováveis da natureza (R)	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33	17,33
Não renováveis da natureza (N)	0,73	1,93	1,70	1,14	8,02	3,23
I: Contribuição da natureza (R+N)	18,06	19,26	19,03	18,47	25,35	20,56
<b>Materiais (M)</b>	<b>9,97</b>	<b>15,44</b>	<b>26,24</b>	<b>22,42</b>	<b>8,33</b>	<b>20,66</b>
Materiais renováveis (Mr)	5,11	0,38	0,14	1,24	0,21	12,29
Materiais não renováveis (Mn)	4,85	15,06	26,09	21,17	8,12	8,36
<b>Serviços (S)</b>	<b>25,72</b>	<b>24,68</b>	<b>35,02</b>	<b>43,37</b>	<b>20,35</b>	<b>77,08</b>
Serviços renováveis (Sr)	18,40	7,50	9,50	15,25	9,30	58,58
Serviços não renováveis (Sn)	7,29	17,17	25,52	28,12	11,04	18,49
F: Fluxos da economia (M+S)	35,69	40,12	61,27	65,80	28,68	97,74
<b>Y: Energia Total (Y=I+F)</b>	<b>53,75</b>	<b>59,38</b>	<b>80,30</b>	<b>84,27</b>	<b>54,03</b>	<b>118,30</b>

P1= Agroecológica, P2= Grãos Bovino, P3= Leite Grãos, P4= Grãos, P5= Diversificada, P6= Orgânica

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

### 3.4.1.1 Indicadores em Emergia

Com os dados obtidos durante a avaliação e apresentados no Apêndice B, realizou-se o cálculo dos indicadores em emergia compatibilizados na Tabela 13.

Tabela 13 – Indicadores em emergia calculados com e sem mao-de-obra familiar das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense.

Indicador	Agroeco- lógica	C. Grão/ Bovino	C. Leite/ Grãos	C. Grãos	C. Diver.	C. Orgânica
UEV	2,72	2,93	1,38	1,45	3,82	8,33
%R	76	42	34	40	50	75
ELR	0,32	1,35	1,98	1,49	1,01	0,34
EYR	1,51	1,48	1,31	1,28	1,88	1,21
EIR	1,98	2,08	3,22	3,56	1,13	4,75
ESI	4,78	1,09	0,66	0,86	1,86	4,00
Sem M.O.F						
UEV	1,68	2,43	1,20	1,18	3,09	3,87
%R	68	36	25	28	40	57
ELR	0,48	1,75	2,96	2,51	1,49	0,76
EYR	2,17	1,54	1,37	1,37	2,38	1,60
EIR	0,85	1,66	2,68	2,70	0,72	1,68
ESI	4,50	0,88	0,46	0,55	1,60	2,10

UEV= Valor unitário de emergia da propriedade em E12 sej/kg; Diver.= Diversificada; M.O.F= Mão de Obra Familiar. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### (a) Valor unitário de emergia (UEV)

O valor unitário de emergia (UEV) das propriedades rurais familiares estudadas variou entre 1,38E12 sej/kg na tipologia Grãos+Leite (mínima) e 8,33E12 sej/kg na Orgânica (máxima). Estes valores mostram que o sistema orgânico precisa de seis vezes mais emergia da biosfera para produzir um kg de produto. O UEV é um indicador que avalia a emergia necessária (“input”) para produzir uma unidade de saída (LU *et al.*, 2010). Na comparação de sistemas, valores altos de UEV significam menor eficiência por unidade de saída (BROWN; ULGIATI, 2004a).

Em geral, sistemas de produção menos tecnificados e de base ecológica requerem maior fluxo de emergia por unidade de saída. Esses fluxos estão incorporados, principalmente, na mão-de-obra e constituem uma emergia mais renovável que as demais, percebível nos outros indicadores (%R, ELR, EYR e ESI). Por outro lado, sistemas com elevada eficiência de produção (sej/kg), como é o caso das propriedades rurais familiares Convencionais Grãos+Leite e Convencional Grãos,



são altamente dependentes de recursos não renováveis, sendo sua sustentabilidade limitada pela disponibilidade desses recursos. Segundo Martin *et al.* (2006), sistemas de produção centrados no uso de energias fósseis são mais eficientes, mas menos sustentáveis no tempo, por ser dependentes de fluxos adquiridos fora do sistema. Os autores, estudando diferentes sistemas de produção no México, observaram que os agroecossistemas tradicionais de indígenas Maias tem transformidade ( $1,37E+06$  sej/J), superiores às das monoculturas de milho ( $9,30E+04$  sej/J) e amora ( $2,32E+05$  sej/J). Porém, os agroecossistemas tradicionais de indígenas Maias apresentam melhor desempenho nos demais indicadores de sustentabilidade (ELR e ESI).

### **(b) Renovabilidade (%R)**

Propriedades de base ecológica (Agroecológica e Orgânica) apresentaram porcentagem de renovabilidade de 76% e 75%. Segundo La Rosa *et al.* (2008), sistemas de produção com elevada porcentagem de renovabilidade (%R) tem melhor probabilidade de serem, ambientalmente, sustentáveis e mais exitosos. O indicador de renovabilidade mostra diferenças consideráveis entre as propriedades. Entre as convencionais a melhor renovabilidade é para a propriedade Convencional Diversificada com um valor de 50% (Tabela 9).

A renovabilidade dos sistemas de base ecológica é influenciada pelo grau de dependência de mão-de-obra familiar e adubos orgânicos, com fração renovável de 90% e 70%, respectivamente (Apêndice A.B). Pesquisas realizadas por Albino e Callado (2012), também evidenciam que a renovabilidade em sistema de produção agroecológica (66%) difere daquela dos sistemas de monocultivo convencional (12 %). Agostinho e Ortega (2012) evidenciaram uma renovabilidade de 55% em pequenas propriedades de produção integrada e de base familiar versus 26% em monocultura em larga escala na produção de etanol.

Vale ressaltar que, propriedades rurais familiares avaliadas com melhor eficiência UEV apresentam os menores percentuais de renovabilidade. Estas propriedades rurais têm como foco a produção de grãos e leite (Grão+Leite e Grãos), altamente dependentes de energias não renováveis incorporadas nos agroquímicos. Segundo Su *et al.* (2020), embora os sistemas mais tecnificados apresentem melhor rendimento, a intensificação da entrada de energias não renováveis como fertilizantes químicos, maquinarias e infraestruturas os torna ambientalmente menos renováveis.

### **(c) Razão de Carga Ambiental ELR**

Em geral, todas as propriedades rurais familiares avaliadas mostram que seu sistema de produção causa baixo estresse ambiental local. A principal diferença pode ser observada nas propriedades rurais familiares de manejo convencional e as de base ecológica, sendo que nas convencionais o ELR mostra valores  $> 1$  e as de base ecológica valores  $< 1$ .

Pode-se observar que, aquelas propriedades mais diversificadas ou integradas apresentam menores valores de ELR (Tabela 13). No Brasil, estudos em pequenas propriedades de produção integrada apresentam valores entre 0,51 e 3,13 (ALBINO; CALLADO, 2012; CAVALETT *et al.*, 2006). Ortega *et al.* (2005), em sistemas convencionais de produção de soja, encontraram valores de ELR de 4,18 e Nakajima e Ortega (2014), na produção de hortaliças, encontraram valores de 4,77 para sistemas convencionais e de 1,54 para sistemas de produção orgânica.

### **(d) Razão de Rendimento Emergético (EYR)**

As propriedades rurais familiares avaliadas apresentam EYR que variou entre 1,21 (Orgânica) a 1,88 (Convencional Diversificada) (Tabela 13). Os valores de EYR na comparação de diferentes sistemas fornece informação para definir aquele com maior capacidade de explorar os recursos locais. Os resultados obtidos sugerem que a “Convencional Diversificada” tem melhor habilidade para a exploração de recursos locais por investimento externo de recursos que todas as demais. Os resultados aqui obtidos são referendados por Cavalett *et al.* (2006) em sistemas de produção integrado no sul do Brasil em que obtiveram o EYR igual a 1,44. Segundo Brown e Ulgiati (2004b), os sistemas de produção fazem uma boa contribuição emergética na economia quando o valor de EYR esteja entre 2 e 5. Isto sugere que os sistemas estudados não têm uma boa capacidade de explorar fontes locais de recursos renováveis por investimento externo de recursos, sendo que seus EYR variam entre 1,21 e 1,88. Contudo, estes resultados estão influenciados pela contabilidade da mão-de-obra familiar no cálculo do EYR, que possuem uma representatividade de até 53% da energia total do sistema. Assim, quando desconsideramos a mão-de-obra, os sistemas Agroecológicos e Convencional Diversificada mostram-se melhores em termos rendimentos emergético (EYR= 2,17 e 2,38) (Tabela 13). Porém, isto poderia levar a conclusões equivocadas, sendo que a mão-de obra familiar forma parte fundamental na energia para que os sistemas de produção funcionem.

### **(e) Razão de Investimento em Energia (EIR)**

O melhor desempenho na utilização de recursos da economia foi observado na propriedade rural familiar “Convencional Diversificada” com o valor de 1,88, ao passo que a propriedade rural familiar Orgânica apresentou o EIR com o valor de 4,75 (Tabela 13). Isso significa que, por unidade de energia da natureza 1,88 unidade são necessárias da economia. No sistema Orgânico, essa relação é de 1: 4,75. O EIR avalia a eficiência do sistema em utilizar a energia da economia para impulsionar seus processos de desenvolvimento local. Na comparação de sistemas de produção valores de EIR baixos identificam aquele com a melhor eficiência na alocação de recursos econômicos (AGOSTINHO *et al.*, 2019). Nesse sentido, a propriedade rural familiar “Convencional Diversificada” é mais resiliente a perturbações que possam acontecer na economia. As propriedades com valores de EIR mais altos têm menor probabilidade de se manterem e menor competitividade. Segundo Asgharipour *et al.* (2019) as tendências atuais indicam que as energias não renováveis e as de baixo custo serão cada vez mais restritas. Portanto, ante um cenário com escassez de fontes fósseis, as propriedades com menor eficiência e maior dependência na utilização da energia da economia teriam menor sucesso em competir com aquelas com menor demanda e maior eficiência na utilização da energia do sistema econômico. Esta abordagem é aplicável para as propriedades convencionais (Grãos+leite) e (Grãos) com EIR 3,22 e 3,56 respectivamente, indicando serem mais susceptíveis e menos competitivas na escassez de recursos de fontes fósseis. Por outro lado, os valores do EIR nas propriedades de base ecológica estão mais relacionados nas dependências da energia da mão-de-obra. Contudo, segue sendo um problema se considerarmos limitações na disponibilidade de mão-de-obra local nos tempos vindouros. Em estudo realizado por Agostinho e Ortega (2012) em pequenas propriedades de produção de etanol, mostraram valores de 1,30 e 0,70, considerando e desconsiderando a mão de obra familiar, respectivamente.

### **(f) Indicador de Sustentabilidade de Energia (ESI)**

As propriedades rurais familiares de base ecológica apresentam a maior sustentabilidade (ESI), com valores de 4,7 para a agroecológica e 3,5 para a orgânica. Entre as propriedades rurais familiares convencionais, a Diversificada e Grãos+Bovino mostraram os maiores valores de ESI, com 1,86 e 1,09, respectivamente. As propriedades Convencional-Leite+Grãos e Convencional-Grãos são consideradas como não sustentáveis por apresentar valores de  $ESI < 1$  (Tabela 13). Segundo Brown

e Ulgiati, 2004b valores de ESI entre um e 10 indicam que o sistema em estudo tem contribuições líquidas para a sociedade sem afetar fortemente seu equilíbrio ambiental. Desta forma, valores menores que um, indicam que o sistema não tem bom desenvolvimento e esgotará recursos rapidamente além de causar impactos ambientais adversos. Propriedades com produção integrada e com princípios de base agroecológica apresentam maior sustentabilidade energética que sistemas em monoculturas ou com uso de agroquímicos (ASGHARIPOUR *et al.*, 2019). Alguns valores de referência podem ser encontrados em pesquisas realizadas no Brasil por Agostinho *et al.* (2008). Estes autores encontraram valores de ESI de cinco, para propriedades com base agroecológica, e menores que 1, em propriedades convencionais. Em sistemas pecuários, Agostinho *et al.* (2019) encontraram valores de ESI para sistemas intensificados e semi-intensificados de leite entre 0,14 e 0,20 e para sistemas como manejo familiar o valor encontrado foi de 0,70. David *et al.* (2018) para diferentes sistemas de cultivos de tilápia, encontraram melhores valores em sistemas orgânicos de produção de tilápia que os convencionais, com valores entre 0,85 e 0,17, respectivamente.

### **Diagrama ternário**

A Figura 18 mostra a proporção de fluxos em emergia agrupados em recursos renováveis (R+Mr+Sr), recursos naturais não renováveis (N) e materiais e serviços não renováveis (Mn+Sn). Os resultados mostram que, o grupo de propriedades de base ecológica está mais próximo ao vértice dos recursos renováveis e utilizam, aproximadamente, a mesma porcentagem de emergias. Por outro lado, as convencionais estão mais próximas ao vértice dos materiais e serviços não renováveis, sendo a propriedade convencional Leite+Grãos a mais dependente dos fluxos econômicos (64%). Quando desconsideramos a mão-de-obra familiar nos cálculos a propriedade Orgânica tem o maior deslocamento em direção ao vértice dos materiais e serviços. Isso porque o 53% da emergia dessa propriedade é produto da mão-de-obra familiar (Figura 18 B).

A análise da simergia mostra que as propriedades de base ecológica apresentam melhor desempenho emergético que o grupo das convencionais. Enquanto a Agroecológica e a Orgânica apresentam uma simergia ponderada de emergia renovável de 76% as de manejo convencional apresentam um valor de 41%. O contrário sucede nas fontes não renováveis, sendo 22% para as de base ecológica e 55% para as convencionais. Isso sugere que, o modelo de produção convencional,

apresentaria maiores problemas de sustentabilidade ante um cenário de escassez de fontes fósseis. Isto torna necessário que sistemas agrícolas regionais utilizem tecnologias de produção mais ecológicas e integração do sistema agropecuário, de tal maneira que se potencializem mais os recursos renováveis locais. Segundo Patrizi *et al.* (2017), ante um futuro com limitações de recursos o conceito de “simbiose” entre a produção agrícola e pecuária é necessária, na qual se constitua uma cadeia de abastecimentos de energias renováveis implementadas de forma circular. Cavalett *et al.* (2006) argumentam que, sistemas integrados de produção têm melhor eficiência na conversão de energia por serem capazes de explorar os recursos locais e melhor aproveitamento de fontes de energia interna renováveis. Adicionalmente, produzem menor estresse ecossistêmico e pressão sobre o meio ambiente.

Por outro lado, pode-se notar que na linha de sensibilidade, as propriedades Convencionais Grão/Bovino, Grãos e Leite/ Grãos compartilham a peculiaridade de manter as proporções de demanda de energia R e N alterando sua dependência de recursos F (Figura 19 B).

Figura 18 – Diagrama ternário mostrando o desempenho emergético para todas as propriedades com (A) e sem (B) mão de obra Familiar das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense.

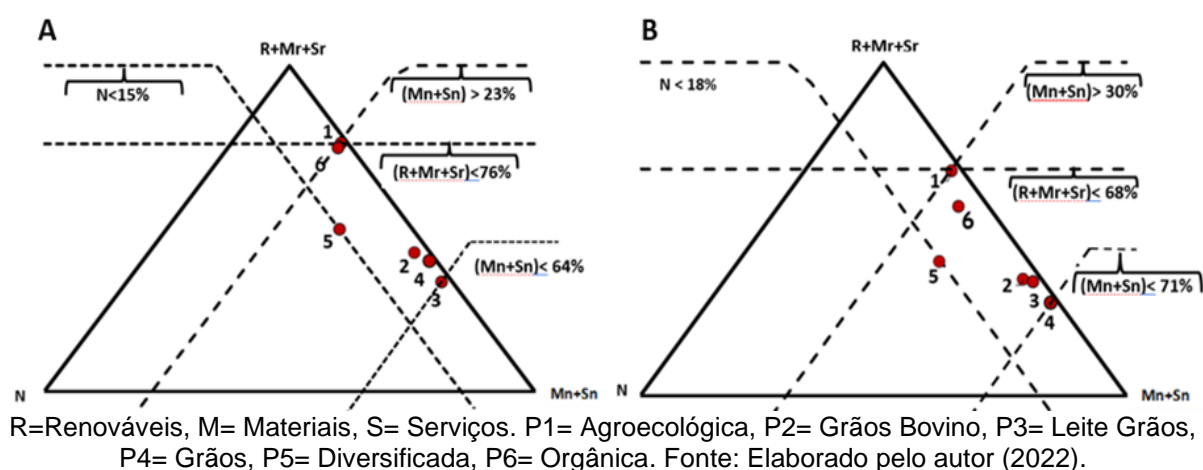
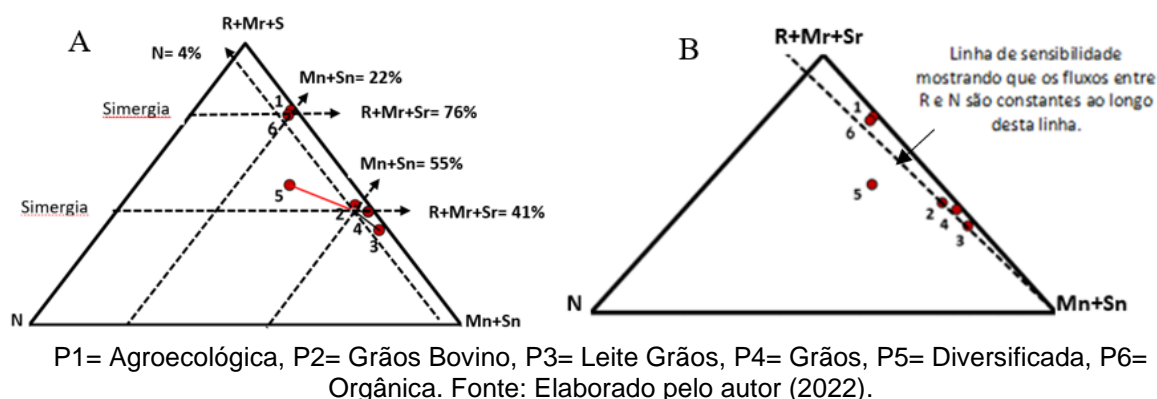


Figura 19 – Diagrama ternário mostrando a simergia (A) e a linha de sensibiliade (B) das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense

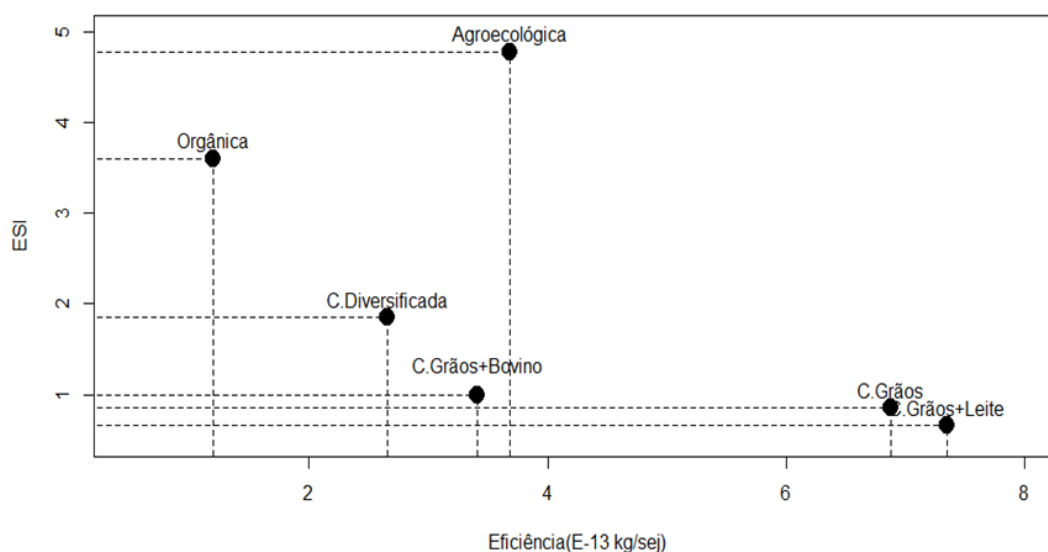


## Sustentabilidade e Eficiência

Na Figura 20, apresenta a relação entre o indicador ESI e a “eficiência global” (o inverso da UEV). Segundo Bonilla *et al.* (2010), o sistema com maior área, combinando os dois indicadores (sustentabilidade e eficiência), é aquele com melhor desempenho. Porém, um grande valor de área, por si só, não é balanceado, a menos que combine simultaneamente valores satisfatórios de ESI e “eficiência global” (EG). Neste sentido, as propriedades Agroecológica e Convencional-Diversificada, estão localizadas em melhor posição dentro do gráfico, uma vez que guardam uma proporção aceitável entre o ESI e EG.

Por outro lado, as propriedades Convencional-Grãos+Leite, Convencional-Grãos+Bovino e Orgânica apresentam uma desproporcionalidade na relação dos dois indicadores. Em quando que as convencionais Grãos+Leite e Grãos+Bovinos apresentam valores altos de EG, produto de grandes investimentos econômicos que resulta em um ESI insatisfatório, a Orgânica apresenta baixos valores de EG com altos valores de ESI, produto de uma dependência maior de recursos renováveis.

Figura 20 – Relação entre ESI e a eficiência global das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Em geral, as propriedades com manejo convencional apresentam melhor “eficiência global” (kg/sej). Porém, uma baixa sustentabilidade com um indicador ESI entre 0,66 e 1,86. A desproporcionalidade entre eficiência e sustentabilidade se deve à alta dependência de fluxos de energia não renováveis incorporadas, principalmente nos fertilizantes sintéticos e agrotóxicos. Segundo Martin *et al.* (2006), um sistema de produção pode ser mais eficiente se concentramos energias de fontes fósseis no seu processo produtivo, porém, menos sustentáveis no tempo, por ser dependentes de fluxos adquiridos fora do sistema.

Este tipo de análise pode ajudar na tomada de decisões sobre qual tipo de sistema deveria ser promovido e incentivado com políticas públicas. Do ponto de vista da eficiência produtiva e da sustentabilidade ambiental a propriedade Agroecológica apresenta melhor desempenho que as demais propriedades. Segundo Asgharipour *et al.* (2019), pequenas propriedades podem beneficiar-se na utilização de energias de fontes renováveis se integram metodologias ecológica, integrando atividades agrícolas com pecuárias.

### 3.4.2 Análise da energia incorporada das propriedades rurais familiares

Na Tabela 14 apresenta-se a energia incorporada das propriedades, segundo o Requerimento Bruto de Energia (RBE) nas unidades MJ/ha e MJ/kg e o Retorno de Energia sobre o Investimento (EROI).

O indicador RBE mostra que a propriedade Convencional-Grãos incorpora a maior quantidade de energia por hectare ( $1,93E+04$  MJ/ha) e a propriedade Convencional-Grão/Bovino a maior quantidade de energia por quilograma de produto (5,448 MJ/kg). Em contrapartida as propriedades Agroecológica e Orgânica apresentam os menores valores (Tabela 10).

Esta diferença é marcada, principalmente, pela utilização de fertilizantes químicos e pesticidas. Insumos como a ureia, em relação a outros, se caracteriza por ter elevados valores de intensidade energética (59,56 MJ/kg) indicando que seu uso nos sistemas de produção se reflete em maior incorporação de energia. Dessa forma, a ureia tem uma representatividade de 33 e 56% do total de energia incorporada, respectivamente nas propriedades Convencional-Grãos e Convencional-Grão/Bovino, (Apêndices E).

Em termos de eficiência energética, repetida pelo índice EROI, os valores estiveram entre 23,80 (Agroecológica) e 0,30 (C.Grãos). Isso significa que enquanto propriedade Agroecológica rende 23,80 unidades de energia por cada unidade de energia incorporada, a Convencional-Grãos rende apenas 0,30 unidades de energia.

Alguns valores de referência para culturas no Brasil podem ser encontradas na literatura científica. Veiga *et al.* (2015) encontrou valores de RBE em MJ/ha de  $1,87E+4$  em feijão;  $1,35E+4$  em trigo;  $1,65E+4$  em arroz e;  $1,55E+4$  em milho. Sendo a ureia o insumo de maior representatividade na energia incorporada, com porcentagens de até 77%. Na produção de etanol a partir de cana de açúcar Pereira e Ortega (2010) obtiveram um valor de EROI de 8,2. Por outro lado, Agostinho e Ortega (2012) encontraram valores de RBE de  $8,23E+03$  MJ/ha e EROI de 13,22 em pequenas propriedades familiares com características IFEES (do inglês “Integrated food, energy and environmental services”) versus RBE de  $3,15E+04$  MJ/ha e EROI de 6,70 em monoculturas em larga escala na produção de etanol.

Considerando que as reservas mundiais de petróleo são limitadas com estimativas de esgotamento, aqueles modelos de produção agropecuários menos dependentes de energias fósseis serão menos vulneráveis (KOZIOSKI; CIOCCA,



2000). Isso indica que, propriedades de base ecológica e mais diversificadas têm melhor chance de sucesso em um mundo de escassez crescente de petróleo.

Tabela 14 – Indicadores de energia incorporada das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense.

Propriedade	RBE (MJ/ha)	RBE (MJ/kg)	EROI (MJ <sub>out</sub> /MJ <sub>in</sub> )
Agroecológica	1,17E+03	0,594	23,80
C. Grão/Bovino	1,10E+04	5,448	2,85
C. Leite/ Grãos	1,36E+04	2,429	4,26
C. Grãos	1,93E+04	3,334	0,30
C. Diversificada	4,14E+03	2,931	3,75
Orgânica	1,62E+03	1,140	1,70

RBE= Requerimento Bruto de Energia. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

### 3.4.3 Análise da Ecotoxicidade

As propriedades rurais de agricultores familiares de manejo convencional apresentaram as quantidades (g/ha) mais altas de ingredientes ativos de agrotóxicos e as de base ecológica de metais pesados (Tabela 15).

Tabela 15 – Aportes de ingredientes ativos e metais pesados em gramas por hectare (g/ha) dos pesticidas e adubos minerais e orgânicos das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense.

Categoria	Agroec.	C. Grãos/ Bovino	C. Leite Grãos	C. Grãos	C. Diversificada	Orgânica
Glifosato	329,714	2420,278	1407,407	1578,947	225,652	0,000
Bifentrina	0,000	8,889	4,537	5,526	0,000	0,000
Carbendazim	0,000	97,222	0,000	63,158	76,087	0,000
Mancozeb	0,000	177,778	207,407	0,000	0,000	0,000
Bentazona	0,000	140,000	0,000	151,579	438,261	0,000
Iprodiona	0,000	0,000	0,000	0,000	21,739	0,000
*M. pesados	80,413	18,242	14,859	22,431	10,857	74,085

\*Metais pesados= Cd, Pb, Cu, Zn, Cr. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Em relação ao potencial de ecotoxicidade (PET) as propriedades rurais familiares que apresentaram maior potencial de ecotoxicidade (PET) foram as convencionais de Grãos+Bovino, Grãos, Diversificada e Leite+Grãos com valores de 9,277, 4,590, 4,351 e 4,323, kg 1,4-DCB-eq respectivamente. Por outro lado, as propriedades com manejo ecológico apresentam os maiores valores de potencial de

ecotoxicidade (PET) na entrada de metais pesados com 1,791 kg de 1,4-DCB-eq para a Agroecológica e 1,579 kg 1,4-DCB-eq para a Orgânica (Tabela 16).

Tabela 16 – Ecotoxicidade potencial em kg de 1,4-diclorobenzeno-equivalente (1,4 DCB-eq) das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense.

	Agroec.	C. Grãos/ Bovino	C. Leite Grãos	C. Grãos	C. Diversificada	Orgânica
Categoria	kg 1,4-DCB-eq/ha					
Glifosato	0,032	0,232	0,135	0,152	0,022	0,000
Bifentrina	0,000	0,738	0,377	0,459	0,000	0,000
Carbendazim	0,000	4,764	0,000	3,095	3,728	0,000
Mancozeb	0,000	2,844	3,319	0,000	0,000	0,000
Bentazona	0,000	0,083	0,000	0,089	0,259	0,000
Iprodiona	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
*M. pesados	1,736	0,616	0,495	0,796	0,340	1,579
Total	1,767	9,277	4,323	4,590	4,351	1,579

\*Metais pesados= Cd, Pb, Cu, Zn, Cr. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O elevado potencial de ecotoxicidade observado nas propriedades rurais familiares de Grãos+Bovino e Grãos pode relacionar-se diretamente aos pacotes tecnológicos difundidos para o cultivo de soja, milho e feijão. No Brasil, a porcentagem da venda de agrotóxicos é distribuída em 52% para soja, 10% milho e 2% feijão, somando 64% do total comercializado (BOMBARDI, 2017). Os resultados deveriam ter especial atenção, se desejarmos agrossistemas mais sustentáveis e livres de agrotóxicos, uma vez que estas culturas representam 86% da área planta com lavouras temporárias nas propriedades rurais familiares da Serra Catarinense (IBGE, 2017).

Por outro lado, os metais pesados incorporados na cama de aviários, de uso comum nos sistemas de base ecológica, também, têm riscos de potencializar a ecotoxicidade no agrossistema. Os resultados mostram que, as propriedades Agroecológica e Orgânica apresentam um potencial de ecotoxicidade de metais pesados de 1,736 e 1,579 kg de 1,4-DCB-eq/ha, sendo cinco e quatro vezes maior, respectivamente, que a propriedade Convencional diversificada, que apresentou o menor valor (0,340 kg 1,4-DCB-eq/ha) (Tabela 16).

Em propriedades convencionais, o uso de pesticidas com ação fúngica como o carbendazim apresenta maior valor em relação às demais substâncias químicas, com 51%, 67% e 85% do PET nas propriedades Grãos/Bovino, Grãos e Diversificada,

respetivamente. Outras substâncias químicas, como o glifosato, apresentam PET menor, apesar de serem emitidos em maiores quantidades (Tabela 15). Essas diferenças estão relacionadas ao fator de caracterização. Por exemplo, carbendazim tem um fator de caracterização maior em termos de ecotoxicidade do que o glifosato. Fatores de caracterização são estimados levando em consideração seu comportamento no meio, capacidade toxica e quantidade aplicada (MARGNI *et al.*, 2002).

O uso de pesticidas no controle de pragas tem se tornado um dos principais problemas de contaminação do solo, água e de alimentos para o consumo humano (SILVA, 2019). Porém, o risco de ecotoxicidade, de fato, aumenta nas propriedades com a aplicação de adubos orgânicos como a cama de aviário (HE, 2016). Este tipo de adubo contém metais pesados que podem ser liberados no solo e acumulados nas lavouras, representando uma ameaça significativa à segurança do agrossistema e à saúde humana (PARENTE *et al.*, 2018; YU, 2021). A concentração de metais pesados na cama de aviário é o resultado da suplementação com fósforo, ferro e metais (Mn, Zn, Cu e Se) na ração do frango, necessários para estimular seu desenvolvimento, mas de baixa complexização pelas aves, o que são expelidos nos dejetos (PARENTE *et al.*, 2019). Zhu *et al.* (2018), também, encontrou maior ecotoxicidade por metais pesados em sistemas orgânicos de maçã que em convencionais. Porém, o sistema convencional apresentou maior ecotoxicidade por pesticidas com predominância do ingrediente ativo carbendazim.

#### **3.4.4 Análise socioeconômica**

Os fluxos monetários estão expressos por hectare da propriedade e apresentados na Tabela 17. A análise mostra que o trabalho da família representaria entre 29% e 76% dos custos de produção. Essas porcentagens diminuem nas propriedades de manejo convencional, com maior nível de mecanização no manejo das culturas, influenciando os resultados nos indicadores socioeconômicos quando considerado o valor da mão-de-obra familiar nos custos de produção.

Tabela 17 – Fluxo monetário e representatividade da mão-de-obra (M.O.F) nos custos de produção das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense.

Propriedade	Custo total com MOF (R\$/ha)	Custo total sem MOF (R\$/ha)	Receita bruta (R\$/ha)	% M.O.F
Agroecológica	2611,0	605,2	3386,9	76,8
C. Grão/Bovino	2343,7	1546,2	2965,5	34,0
C. Leite/ Grãos	3289,7	2306,4	4714,8	29,9
C. Grãos	4008,4	2435,7	4656,0	39,2
C. Diversificada	2312,7	1060,6	5135,0	54,1
Orgânica	8415,6	2190,6	6306,2	74,0

%M.O.F= Representatividade da mão-de-obra familiar nos custos totais. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Sem considerar o valor da mão-de-obra, a propriedade Orgânica apresenta o melhor desempenho de receita líquida, sendo 2,9 vezes maior que a propriedade convencional Grãos+Bovino (P2) que tem a menor receita líquida (1419,34 R\$ ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). Os indicadores de rentabilidade e lucratividade foram cinco e 1,7 vezes maior na propriedade agroecológica que na propriedade Convencional-Grãos que apresentou os menores valores (Tabela 18). O maior valor nos preços dos produtos orgânicos, em relação aos produtos convencionais, poderia estar influenciando nos resultados dos indicadores econômicos, além de não contabilizar o valor monetário da mão-de-obra familiar.

A incorporação do valor monetário da mão-de-obra familiar nos custos de produção influi, significativamente, nos resultados do desempenho econômico nas propriedades. Isto é evidenciado, principalmente, na propriedade rural familiar orgânica que apresenta todos os indicadores econômicos negativos. Por outro lado, a propriedade convencional diversificada é a menos afetada e apresenta os melhores desempenhos de rentabilidade (1,22) e lucratividade (55%) (Tabela 18).

Tabela 18 – Indicadores econômicos considerando e desconsiderando o custo da mão-de-obra familiar das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense.

Indicador	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<b>Sem mão de obra familiar</b>						
Receita líquida (R\$/ha <sup>-1</sup> )	2781,68	1419,34	2408,41	2220,22	4075,21	4115,65
Rentabilidade	4,60	0,92	1,04	0,91	3,84	1,88
Lucratividade (%)	82,13	47,86	51,08	47,69	79,35	65,26
<b>Com Mão de obra familiar</b>						
Receita líquida (R\$ ha <sup>-1</sup> )	775,90	621,80	1425,00	647,50	2823,00	-2109,30
Rentabilidade	0,30	0,27	0,43	0,16	1,22	-0,25
Lucratividade (%)	22	20	30	13	55	-33

P1= Agroecológica, P2= Grãos Bovino, P3= Leite Grãos, P4= Grãos, P5= Diversificada, P6= Orgânica. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A importância de contabilizar a mão-de-obra na análise de sustentabilidade fica mais clara com a abordagem social. Baseados na renda por hora de trabalho e suficiência de renda, as propriedades de manejo convencional mostram melhor desempenho, com destaque para a propriedade Convencional Diversificada com valores de 36,61 R\$/h, em comparação da propriedade orgânica com valor de 7,4 R\$/h (Tabela 19). Considerando valor mínimo aceitável de 5,4 R\$/h, para o setor agropecuário segundo a lei complementar nº 771, de 17 de março de 2021 para o Estado de Santa Catarina na categoria da agricultura e a pecuária, a propriedade orgânica apenas satisfaria as condições mínimas necessárias se considerarmos que as rendas deveriam pagar a mão-de-obra familiar. O mesmo acontece com a suficiência de renda que é menor que um.

Tabela 19 – Indicadores sociais das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense.

Indicador	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Renda por hora de trabalho (R\$/h)	15,60	20,02	27,55	15,88	36,61	7,44
*Suficiência de renda	1,40	1,80	2,40	1,40	3,30	0,10

P1= Agroecológica, P2= Grãos Bovino, P3= Leite Grãos, P4= Grãos, P5= Diversificada, P6= Orgânica.

\* Valores  $\geq 1$  significam que as receitas recebidas pelas vendas podem pagar toda a mão de obra investida na propriedade, podendo até deixar um saldo positivo quando for  $>1$ . Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

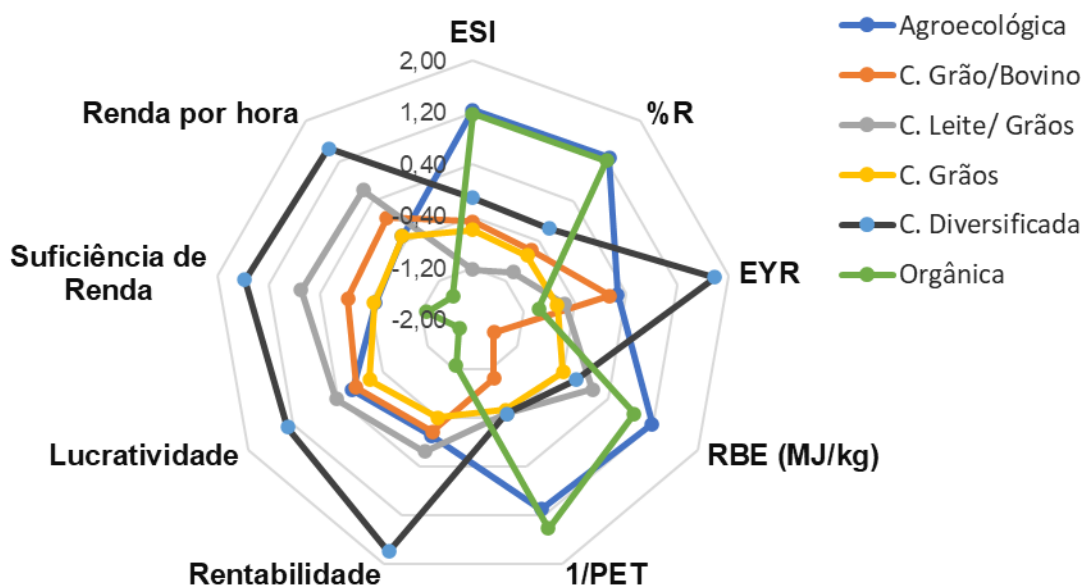
Embora as propriedades de manejo em base ecológica sejam mais ambientalmente sustentáveis pelo uso de energias renováveis, as mesmas apresentam, socialmente, indicadores mais baixos. Essa abordagem é importante quando pensamos na permanência do agricultor no campo. Sistemas de produção com insuficiência de rendas para o agricultor tendem a desaparecer. Segundo DREBY *et al.* (2017), a agricultura familiar hoje em dia luta com o paradoxo de aumento de seus valores sociais e econômicos e uma diminuição da viabilidade da agricultura como modo de vida. Dados do IBGE (2017) mostram que entre o período de 2006 e 2017, os estabelecimentos de agricultura familiar reduziram 9% e os estabelecimentos com agricultura orgânica não sobrepassa o 2% na Serra Catarinense. Segundo Winck (2013), a baixa remuneração e a busca de uma vida mais estável com salários fixos são os motivos da redução do percentual de propriedades rurais na região do Oeste de Santa Catarina.

Estimar os indicadores econômicos é fundamental na tomada de decisões sobre desempenho de um sistema de produção de alimentos (CUADRA; BJORKLUND, 2007). Porém, a contribuição da mão-de-obra familiar, nos custos de produção, é muitas vezes, desconsiderada na análise. Essa abordagem é necessária se queremos identificar problemas sociais relacionados com a permanência do agricultor no campo, uma vez que se os sistemas de produção que não recompensam financeiramente, em relação a quantidade de horas trabalhadas, terá a necessidade de depender de outro sistema econômico.

#### **3.4.5 Desempenho geral das propriedades rurais familiares**

A análise geral de sustentabilidade incluiu os indicadores em energia, energia incorporada, ecotoxicidade e socioeconômicos. As propriedades de base ecológica (Agroecológica e Orgânica) são favorecidas por indicadores ambientais e desfavorecidas por indicadores socioeconômicos. Entre tanto, propriedades de base convencional (Grãos+Bovino, Leite+Grãos, Grãos e Diversificada) são favorecidas por indicadores socioeconômicas (Figura 21).

Figura 21 – Gráfico comparativo entre as propriedades familiares avaliadas na Serra Catarinense, contendo todos os indicadores de sustentabilidade.



Apesar dos sistemas convencionais terem vantagens nos indicadores socioeconômicas, os mesmos exercem forte pressão sobre o ambiente e são dependentes de fluxos não renováveis. Entretanto, a propriedade Orgânica, que é favorecida por ter mais fluxos renováveis, tem baixos indicadores socioeconômicas, indicando susceptibilidade desta propriedade em depender de outras fontes alternativas de rendas.

Em geral, considerando a maior área, observada, do polígono no gráfico, a propriedade Convencional Diversificada apresenta maior nível de sustentabilidade. Porém nos indicadores PET, ESI, %R e RBE essa propriedade é superada pelas de base ecológica. Propriedades com sistemas de produção mais diversificados tendem a se manter economicamente mais competitivos que aqueles simplificados (MARKUSSEM *et al.*, 2014). Porém, modelos convencionais tendem a causar pressão sobre o meio ambiente local.

A utilização de múltiplas perspectivas para avaliar a sustentabilidade de propriedades familiares gera uma visão mais ampla em termos ecocentristas e antropocentristas (JAKLIČ *et al.*, 2014). Além disso, fornece informação para um planejamento agrícola regional sólido e abrangente com miras a permanência da agricultura familiar (KOCJANČIČ *et al.*, 2018).

### 3.5 CONCLUSÕES

Os resultados mostram que a sustentabilidade de propriedades familiares na Serra Catarinense deve ser abordada por várias perspectivas. Métricas ecocêntricas são favorecidas em propriedades de manejo em base ecológica com produção integrada e métricas antropocêntricas, quando considerado o valor da mão-de-obra, favorecem as propriedades de manejo convencional.

Os resultados mostram que na Mesorregião Serrana, SC, a propriedade familiar com tipologia Convencional Diversificada apresenta o maior nível de sustentabilidade geral. Sendo que em geral têm potencial de disponibilizar mais energia para a sociedade por energia investida da economia assim como melhores valores na rentabilidade, lucratividade, renda por hora de trabalho e suficiência de renda. Além disso, apresenta os melhores valores, nas tipologias convencionais, para o indicador de sustentabilidade e renovabilidade em energia. Porém, melhores perspectivas poderiam existir neste sistema se incorporasse mais energia renovável.

As propriedades Agroecológica e Orgânica apresentaram os melhores desempenhos ambientais nos indicadores de energia. Seu sistema de produção depende, respectivamente, em 76% e 75% de fluxos renováveis com baixo impacto sobre o meio ambiente ( $ELR = 0,32$  e  $0,34$ ), cujo indicador de sustentabilidade em energia é de 4,78 e 4, para propriedade agroecológica e orgânica, respectivamente. Não entanto, se consideramos a eficiência global (saídas/entrada) relacionada com o indicador ESI, o sistema agroecológico tem melhor desempenho que os demais. Entretanto, as propriedades de base ecológica incorporam menor quantidade de energia fóssil por quilograma de produto. O sistema agroecológico apresenta, também, menores valores de potencial de ecotoxicidade ambiental. Porém, algumas considerações deveriam ser feitas no manejo com base ecologia, principalmente na entrada de insumos como a cama de aviários. A quantidade de metais pesados nas propriedades de manejo ecológico é maior que nas convencionais, os quais constituem risco potencial de ecotoxicidade para o agrossistema.

Os indicadores econômicos mostram que, há maior variação quando a mão-de-obra familiar é inclusa nos custos de produção. Quando o trabalho do agricultor não é quantificado nos custos, a propriedade Orgânica apresenta a melhor receita líquida e a propriedade Agroecológica tem melhor rentabilidade e lucratividade. Por



outro lado, quando o trabalho do agricultor é quantificado, a propriedade Convencional Diversificada apresentam os melhores resultados em todos os indicadores.

A importância de quantificar o trabalho familiar, também, se reflete nos indicadores sociais. As propriedades familiares que dependem mais do trabalho familiar, como a orgânica e a agroecológica têm menor suficiência de renda no indicador ingresso por hora de trabalho. Isto mostra que, embora sejam mais sustentáveis em termos ambientais, são mais vulneráveis socioeconomicamente do que as propriedades convencionais e mais susceptíveis a depender de outros sistemas econômicos.

## 4 PREPARAÇÕES HOMEOPÁTICAS NO MANEJO DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris*)

### 4.1 RESUMO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) é uma cultura de extrema importância socioeconômica na agricultura familiar catarinense. Porém, seu manejo convencional se faz com alta dependência de agrotóxicos que por sua vez geram efeitos negativos no ambiente e na saúde da população. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de preparados homeopáticos de *Silicea terra* e *Phosphorus*, sobre o desenvolvimento de variáveis morfométricas e produtivas em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris*). Neste estudo, foram realizados dois experimentos em casa de vegetação e um experimento em campo, com delineamento experimental de blocos ao acaso, em ambos os casos. As preparações homeopáticas de *Phosphorus* e *Silicea terra* nas dinamizações 7, 12, 24, 36, 48 e 60CH e água destilada, como testemunha, foram aplicadas em feijoeiro conduzido em casa-de-vegetação. A campo, os tratamentos foram *Phosphorus* 48 e 60CH, *Silicea terra* 36 e 60CH e água destilada como testemunha. Em casa de vegetação, o preparado homeopático *Silicea terra* 36CH acrescentou, significativamente ( $p < 0,05$ ), o peso da biomassa seca da parte aérea (9,78 g) e o peso da biomassa seca das folhas (5,36 g), em relação à testemunha. *Silicea terra* 36CH e *Phosphorus* 60CH, em condições de campo, proporcionaram aumento de produtividade do feijão em relação à testemunha. Os resultados indicam que as preparações homeopáticas tem alto potencial de melhoria no desenvolvimento e consequente aumento de produtividade quando aplicadas em plantas de feijoeiro.

**Palavras-chave:** Altas diluições; Homeopatia; Biomassa; Dinamização; Feijão.

### 4.2 INTRODUÇÃO

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*) tem extrema importância socioeconômica no Brasil, uma vez que integra a dieta básica do prato popular arroz com feijão com excelente conteúdo de proteína e fonte de renda para agricultores (SOUZA *et al.*, 2013). O Estado de Santa Catarina destaca-se na produção nacional, com 105 mil toneladas anuais e rendimento médio por hectare de 1.770 kg/ha

(CONAB, 2020). Pequenos agricultores familiares são responsáveis por 73,2% da produção estadual (NITA, 2017).

O manejo da cultura do feijão é realizado, principalmente, de maneira convencional, caracterizado por intenso uso de agrotóxicos (KLUTHCOUSKI *et al.*, 2009; PIGNATI *et al.*, 2017). Essas práticas de manejo aumentam os custos de produção, adicionam resíduos tóxicos ao meio ambiente, reduzem a biodiversidade e acumulam moléculas de agrotóxicos nas cadeias tróficas (SANTOS; PONTES, 2013).

Urge, portanto, a necessidade de buscar alternativas a esses modelos de produção que demandam cada vez mais agroquímicos. Por outro lado, as alternativas precisam ser de menor impacto ambiental e de menos riscos à saúde, mas também que possam garantir a viabilidade de agricultores rurais familiares (VARGAS *et al.*, 2012).

Altas diluições dinamizadas (Homeopatia) têm sido demonstradas de alto potencial para apoiar sistemas produtivos, sem causar efeitos negativos no ambiente (TEIXEIRA; CARNEIRO, 2017). Mazón-Suástegui *et al.* (2020) encontraram que plantas de feijão tratadas com *Natrum muriaticum* (NaM 7CH) contribui no desenvolvimento de variáveis morfológicas e aumento de 50% da taxa fotossintética nas plantas em relação as não tratadas. Pinheiro *et al.* (2019) relatam que o uso de *Arsenicum* 15 e 20CH (CH=ordem de diluição centesimal hahnemanniana) melhoram o crescimento da parte aérea das plântulas de feijão. Abasolo *et al.* (2020a) descrevem que os preparados homeopáticos *Silicea terra* 7CH e *Natrum muriaticum* 7CH foram, significativamente, melhores no rendimento de *Brassica napus* L. em 46 e 44%, respectivamente, em relação ao controle com água destilada. Também, Santos *et al.* (2011) mencionam que o *Phosphorus* na dinamização 9CH tem mostrado aumentos de 28% e 39% no crescimento e na produção de biomassa seca na planta de *Verbena gratissima* em relação à testemunha com água destilada. Oliveira *et al.* (2014) encontraram que a *Silicea terra* tem potencial na elicitação de mecanismos de defesa envolvendo peroxidase, catalase, quitinase e fitoalexina, o resulta em excelente alternativa para o controle de patógenos em plantas. Ao passo que, Rissato *et al.* (2016; 2018) relatam que a *Calcarea carbonica* e *Phosphorus* tem mostrado redução da intensidade da *Sclerotinia sclerotiorum*.

Os preparados homeopáticos tem a facilidade de serem excelente recurso em processos de transição de modelos de produção convencionais a modelos agroecológicos, contribuindo a desenvolver agrossistemas sustentáveis (ANDRADE;

CASALI, 2011). Porém, a efetividade do preparado homeopático, muitas vezes, está influenciada pela dinamização empregada (APARECIDA, 2020; MORENO, 2017). Sendo necessário avaliar diferentes dinamizações de um mesmo preparado homeopático, uma vez que se pode encontrar diferentes respostas em função da dinamização utilizada (BONATO, 2007, RISSATO *et al.*, 2018). Além disso, remédios homeopáticos foram descritos, inicialmente, para humanos e sua expansão para uso em cultivos vegetais ainda necessita de experimentações adicionais (BOFF *et al.*, 2021).

O objetivo deste estudo foi de avaliar o efeito de preparados homeopáticos em diferentes dinamizações sobre o desenvolvimento da cultura do feijão e sua produtividade (*Phaseolus vulgaris*). Os resultados desta pesquisa pode subsidiar o agricultor a substituição no uso de agroquímicos na cultura como o feijão.

#### 4.3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na Estação Experimental de EPAGRI, Lages SC, entre 2019 a 2021, em duas etapas. A primeira etapa realizou-se experimentos em casa de vegetação com as preparações homeopáticas *Phosphorus* e *Silicea terra* nas dinamizações de 7, 12, 24, 36, 48 e 60CH. Na segunda etapa, realizada a campo, utilizou-se os preparados homeopáticos que apresentaram a melhor resposta na primeira etapa, que foram *Silicea terra* 36 e 60CH e *Phosphorus* 48 e 60CH. Em ambas as fases foram utilizadas sementes certificadas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) cultivar SCS204 Predileto do grupo comercial preto.

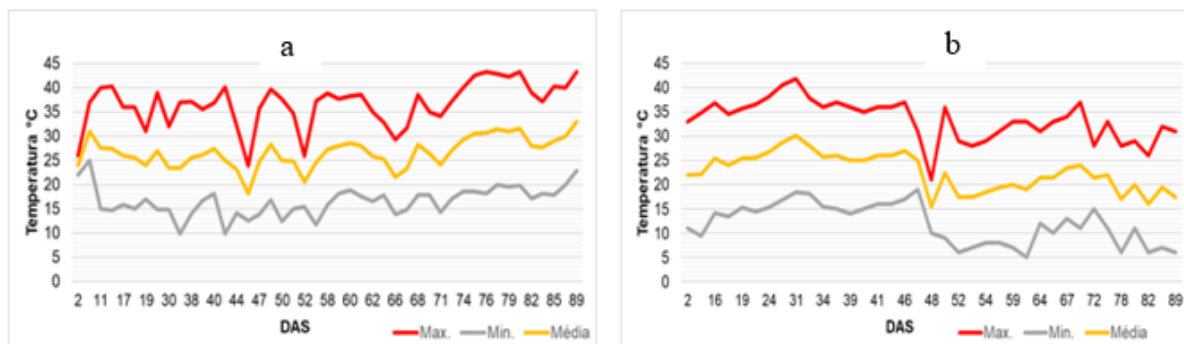
As preparações homeopáticas foram desenvolvidas no Laboratório de Homeopatia e saúde Vegetal da EPAGRI, Lages, a partir de matrizes adquiridas de farmácia idônea e registradas para manipulação homeopática em Lages, SC. A elaboração das preparações homeopáticas foi de acordo a metodologia descrita na Farmacopeia Homeopática Brasileira (2011).

##### **Experimento em casa de vegetação**

Em casa de vegetação, as sementes foram semeadas em vasos plásticos com capacidade de 3,5 L de substratos. O substrato utilizado contava da mistura de terra preta (90%), casca de arroz carbonizada (5%) e vermiculita (5%). Na primeira etapa, foram desenvolvidos dois experimentos, sendo o primeiro (Exp. 1) entre 14/10/2019 e 13/01/2020 e o segundo experimento (Exp. 2) entre 15/02/2020 e 16/05/2020. Durante

a condução dos experimentos, as temperaturas variaram entre  $36,43 \pm 4,85$ ,  $26,71 \pm 3,12$ ,  $16,17 \pm 3,28$  °C (Exp.1) e  $33,48 \pm 4,22$ ,  $22,73 \pm 3,78$ ,  $12,03 \pm 4,11$  °C (Exp.2), respectivamente para máximas, médias e mínimas (Figura 22).

Figura 22 – Variação da temperatura (°C) durante o ciclo da cultura no Exp.1 (a) e Exp. 2 (b).



DAS: dias após a semeadura. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Em ambos os experimentos, considerou-se delineamento experimental de blocos ao acaso (DBC) com 13 tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas preparações homeopáticas de *Silicea terra* e *Phosphurus* ambas nas dinamizações 7, 12, 24, 36, 48 e 60CH (ch= ordem de diluição centesimal hahnemaniana) e o tratamento como água destilada como testemunha. As dinamizações finais dos preparados homeopáticos foram realizadas em água destilada.

As unidades experimentais foram constituídas por três plantas de feijão (uma planta por vaso). As preparações homeopáticas foram aplicadas, semanalmente, iniciando no surgimento do primer trifólio (V3) até os 65 dias depois da semeadura (DDS). Os preparados homeopáticos foram aplicados na superfície do solo, buscando abranger a área do sistema radicular da planta em volume de 50 ml de preparado homeopático por unidade experimental.

Ambos os experimentos foram conduzidos no sistema de duplo-cego, onde nem o aplicador nem o avaliador conheciam a identidade dos tratamentos, os quais só foram revelados depois de processados os dados.

Quando as plantas atingiram o final do seu ciclo (aos 90 dias da semeadura) foram avaliadas as seguintes variáveis: peso seco das folhas, peso seco do caule e peso seco da parte aérea (folhas e caule). Para obter o peso seco, as amostras (folha,

caule) foram colocadas em sacos de papel e sometidas, em uma estufa de secagem, a temperatura de 60°C por 72 horas para posterior pesagem em uma balança digital (modelo: AV8101P) e os resultados expressados em gramas. O número de vagens e grãos por planta também foram avaliados.

### **Experimento em campo**

O experimento a campo foi realizado entre 19 de novembro de 2020 a 20 de fevereiro de 2021. Utilizaram-se as preparações homeopáticas com as dinamizações que apresentaram as melhores respostas nos experimentos na casa de vegetação. Os tratamentos foram as preparações homeopáticas de *Phosphorus* na 48 e 60CH, *Silicea terra* na 36 e 60CH e, água destilada como testemunha. Na condução do experimento, realizou-se capinas manuais para o controle de plantas espontâneas e não foram aplicados adubos nem qualquer outro insumo agrícola. O preparo do solo foi realizado com arado e gradagem e a semeadura com plantadeira manual. A análise química do solo apresentou as seguintes características: 5,5 de pH; 3,8% de MO; 35% de argila; 7,76 cmolc/dm<sup>3</sup> de Ca; 3,26 cmolc/dm<sup>3</sup> de Mg; 51,0 mg/dm<sup>3</sup> de P; 3,75 mg/dm<sup>3</sup> de Zn e; 12,7 mg/dm<sup>3</sup> de Mn.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso (DBC) com quatro repetições. As unidades experimentais foram compostas por quatro linhas de 4 metros de comprimento e espaçadas em 0,5 metros, sendo a parcela útil constituída pelas duas linhas centrais delimitando em área de 2m<sup>2</sup>.

As preparações homeopáticas foram aplicadas, direcionadas ao solo, a cada 15 dias após a semeadura, seguindo uma proporção de 10 ml por litro de água, utilizando um pulverizador costal com capacidade de 5 L. No total realizaram-se quatro aplicações em intervalos de quinze dias.

Na colheita, foram avaliadas as variáveis: rendimento de grãos (kg ha<sup>-1</sup>) e peso de mil sementes (PSM). O cálculo do PMS se realizou seguindo os procedimentos das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009).

### **Análise estatística**

Os dados obtidos foram sometidos à análise de variância (ANOVA) considerando um nível de significância de 5%. As pressuposições de normalidade e homocedasticidade foram verificadas pelo teste de Shapiro-Wilk e Bartlett. As medias foram comparadas pelo teste de Tukey quando  $P \leq 0,05$ . Os dados foram analisados com auxílio do ambiente R (R Core Team, 2018).

## 4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.4.1 Efeito de preparados homeopáticos no desenvolvimento do feijoeiro

No experimento um, houve diferenças significativas entre os tratamentos para a variável biomassa seca da folha. O tratamento com o preparado homeopático *Silicea terra* 36CH estimulou, nas plantas de feijão, o maior desenvolvimento nas folhas, induzindo aumentos de 2,2 e 1,6 g/planta em relação a *Phosphorus* na 7CH e água destilada (Tabela 20).

Tabela 20 – Biomassa seca das folhas e do caule de plantas de feijão cultivar SCS204 predileto do grupo comercial preto submetidas a preparados homeopáticos.

Lages, SC, Brasil.

Preparados	Folhas (g/planta)		Caule (g/planta)	
	Exp.1	Exp.2	Exp.1	Exp.2
<i>Silicea terra</i> 36CH	5,36 a	2,55 <sup>ns</sup>	4,43 <sup>ns</sup>	1,58 <sup>ns</sup>
<i>Silicea terra</i> 60CH	5,05 ab	2,08	4,05	1,03
<i>Silicea terra</i> 12CH	4,85 abc	1,69	3,85	0,88
<i>Silicea terra</i> 48CH	4,65 abc	1,98	4,07	1,32
<i>Phosphorus</i> 36CH	4,59 abc	1,77	3,73	1,10
<i>Phosphorus</i> 48CH	4,47 abc	1,82	3,32	1,08
<i>Phosphorus</i> 24CH	4,36 abcd	1,92	4,06	1,09
<i>Silicea terra</i> 7CH	4,33 abcd	2,15	3,71	1,45
<i>Silicea terra</i> 24CH	4,19 abcd	1,67	3,36	0,71
<i>Phosphorus</i> 12CH	4,15 abcd	1,89	3,19	1,25
<i>Phosphorus</i> 60CH	3,83 bcd	1,98	2,99	1,11
Água destilada	3,71 cd	1,50	3,45	1,07
<i>Phosphorus</i> 7CH	3,15 d	1,58	2,00	0,85
CV (%)	17,9	20,6	24,9	30,3

Medias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. ns= não significativo. Exp.1= experimento 1 (14/10/2019-13/01/2020); Exp.2= experimento 2 (15/02/2020-16/05/2020).

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

*Silicea terra* tem sido referenciada como potencializadora do desenvolvimento de plantas. Abasolo *et al.* (2020b) encontraram que *Silicea terra* 13CH, aplicada em plântulas de tomate, potencializou a biomassa seca das folhas (1,32 g) e a biomassa seca do caule (1,90 g) em relação ao tratamento com água (1,15g e 0,68 g). Além disso, o mesmo tratamento influenciou no maior crescimento da planta (6,6 cm) em relação ao tratamento controle com água destilada (4,6 cm). Mazón-Suástegui, *et al.* (2020) observaram aumento significativo de 82% no peso seco das folhas de plantas

de feijão quando plantas foram submetidas aos preparados homeopáticos de *Magnesium metallicum* 31CH e *Magnesium-Manganum phosphoricum* 3CH, em relação ao controle de água destilada.

Para o experimento dois, não se encontraram diferenças significativas entre os tratamentos referentes ao peso da biomassa seca das folhas e do caule, No entanto, o tratamento com *Silicea terra* 36CH apresentou maior valor (Tabela 21). A não significância entre os tratamentos pode ser atribuída aos longos períodos de baixas temperaturas (<25 °C) durante a condução do experimento (Figura 22). Segundo Barbano *et al.* (2001), a temperatura média ideal para a planta de feijão é de 25 °C. Assim, longos períodos de baixas temperaturas, durante seu crescimento vegetativo, prejudicam seu desenvolvimento (PEREIRA *et al.*, 2014).

A variância da variável peso da biomassa da parte aérea do experimento um e experimento dois apresentaram homogeneidade, pelo teste de Hartley (1950), possibilitando a realização da análise conjunta. Na análise conjunta, observaram-se diferenças significativas entre os tratamentos, onde o tratamento com *Silicea terra* 36CH proporcionou o maior desenvolvimento da biomassa seca da parte aérea (9,78 g) diferindo, estatisticamente, da testemunha (6,48 g) mas não dos tratamentos *Silicea terra* nas 60CH, 48CH e 7CH e *Phosphorus* nas 24CH e 36CH (Tabela 21).

Tabela 21 – Biomassa seca, folhas e caule, de plantas de feijão cultivar SCS204 predileto do grupo comercial preto submetidas a preparados homeopáticos. Lages, SC, Brasil.

Preparados	Biomassa (g/planta)
<i>Silicea terra</i> 36CH	9,78 a
<i>Silicea terra</i> 60CH	8,50 ab
<i>Silicea terra</i> 48CH	8,45 ab
<i>Silicea terra</i> 7CH	8,18 abc
<i>Phosphorus</i> 24CH	8,08 abc
<i>Phosphorus</i> 36CH	8,05 abc
<i>Silicea terra</i> 12CH	7,45 bc
<i>Phosphorus</i> 48CH	7,44 bc
<i>Phosphorus</i> 12CH	7,16 bcd
<i>Phosphorus</i> 60CH	7,05 bcd
<i>Silicea terra</i> 24CH	6,97 bcd
Água destilada	6,48 cd
<i>Phosphorus</i> 7CH	5,41 d
CV (%)	20,0

Medias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).



Pesquisa realizada por Pulido *et al.* (2014) relatam que o tratamento com *Silicea terra* 30CH aumentou o peso seco das plantas de repolho em 0,036 g em relação ao tratamento com *Carbo vegetabilis* 6CH (0,098 g planta<sup>-1</sup>). Resultados semelhantes foram, também, encontrados por Pulido *et al.* (2017) em mudas de brócolis, onde o preparado homeopático de *Silicea terra* 30CH promoveu o aumento do diâmetro do caule, comprimento de raiz e massa seca de partes aéreas e radicular de mudas de brócolis. Santos *et al.* (2011) relatam que o tratamento com *Phosphorus* proporcionou aumento de 68% da massa seca total de *Verbena gratissima* em relação ao tratamento testemunha como água.

É importante notar que, a biomassa seca da parte aérea da planta foi influenciada por aqueles tratamentos que induziram maior peso seco das folhas, como foi *Silicea terra* 36CH (Tabela 21). Sabe-se que a área foliar e seu peso seco estão intimamente relacionados (GUISCHEM *et al.*, 2007). Portanto, plantas com maior área foliar são beneficiadas com mais atividade fotossintéticas que proporcionam maior alocação de biomassa vegetal e estimulam o desenvolvimento de plantas mais vigorosas e com maior potencial produtivo (GARCIA-BERNAL *et al.*, 2020).

Em geral, pode-se observar que o aumento das dinamizações dos preparados homeopáticos, não influenciou, progressivamente, a resposta das variáveis morfométricas no feijoeiro. Segundo Rissato *et al.* (2018), os preparados homeopáticos podem atuar de maneira diferentes nas plantas segundo a dinamizações utilizadas. Em nosso estudo, o preparado homeopático *Silicea terra* na dinamização 36CH teve os melhores resultados no desenvolvimento da planta do feijão.

#### **4.4.2 Efeito de preparados homeopáticos na produtividade do feijoeiro**

Não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para as variáveis número de vagens (NVA) e grãos por planta (Exp. 1 e 2). No entanto, para a variável NVA, o preparado homeopático *Silicea terra* 60CH apresentou o maior valor (10,33) no experimento um e *Phosphorus* 36CH o maior valor (4,17) no experimento dois. Os preparados homeopáticos de *Silicea terra* 60CH, 24CH apresentaram o maior número de grãos (38) no experimento um e *Phosphorus* 12CH, 36CH e 48CH o maior número de grãos (13) no experimento dois (Tabela 22).

Tabela 22 – Produtividade do feijão cultivar SCS204 predileto do grupo comercial preto submetidas a preparados homeopáticos. Lages, SC, Brasil.

Preparados	Vagens (Nº/planta)		Grãos (Nº/planta)	
	Exp.1	Exp.2	Exp.1	Exp.2
<i>Phosphorus</i> 7CH	5,67 <sup>ns</sup>	2,75 <sup>ns</sup>	21,17 <sup>ns</sup>	10,73 <sup>ns</sup>
<i>Phosphorus</i> 12CH	8,42	3,42	31,92	13,94
<i>Phosphorus</i> 24CH	9,00	2,83	31,58	7,77
<i>Phosphorus</i> 36CH	7,67	4,17	24,42	13,83
<i>Phosphorus</i> 48CH	7,58	3,88	27,83	13,85
<i>Phosphorus</i> 60CH	8,00	3,58	30,08	11,74
<i>Silicea terra</i> 7CH	8,17	2,79	28,50	7,15
<i>Silicea terra</i> 12CH	8,92	1,83	32,17	6,50
<i>Silicea terra</i> 24CH	9,75	2,17	38,17	5,58
<i>Silicea terra</i> 36CH	8,92	3,58	32,00	11,75
<i>Silicea terra</i> 48CH	7,58	3,92	24,42	11,15
<i>Silicea terra</i> 60CH	10,33	3,25	38,42	10,50
Água destilada	6,17	2,63	21,33	5,23
CV (%)	22,4	37,0	31,0	50,0

Medias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. ns= não significativo. Exp.1= experimento 1 (14/10/2019-13/01/2020); Exp.2= experimento 2 (15/02/2020-16/05/2020). Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

O rendimento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e o peso de mil sementes (g), a campo, foram significativamente diferentes entre os tratamentos. *Silicea terra* 36CH e *Phosphorus* 60CH proporcionaram aumento do rendimento em 772 e 774  $\text{kg ha}^{-1}$  respectivamente, e no peso de mil sementes em 36 e 34,8 g, respectivamente, em relação à testemunha que foi 2136,2  $\text{kg ha}^{-1}$  e 196,19 g para mil sementes (Tabela 23). Estudos a campo têm mostrado o potencial da homeopatia para o incremento da produção no rendimento de grãos. Santos Junior *et al.* (2021) encontraram que a *Silicea terra*, na cultura de feijão, aumentou em até 33% mais de rendimento ( $\text{kg/ha}$ ) em relação à testemunha (sem aplicação). Na cultura do arroz, Verdi *et al.* (2020) obtiveram 21% mais de rendimentos ( $\text{kg/ha}$ ) nos tratamentos com as homeopantias *Magnetitum* e *Arsenicum tartaricum* em relação aos não tratados. Do mesmo modo, Freitas *et al.* (2015) obtiveram aumento entre 10 e 15% na produção de milho no tratamento com preparado homeopático *Ammonium carbonicum* 3 e 4CH quando comparadas com a testemunha com água.

Observa-se que os tratamentos *Silicea terra* 60CH, *Silicea terra* 36CH e *Phosphorus* 60CH sobrepassaram o valor de referência em relação ao peso de mil

sementes da cultivar de feijão SCS204, utilizado em este estudo, e referencia da Epagri como ideal de 200g por mil sementes (Epagri, 2018).

Diferentes trabalhos demonstraram que plantas submetidas a preparações homeopáticas aprimoram seus processos internos e otimizam seu desenvolvimento para serem mais produtivas (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2021; PULIDO *et al.*, 2014).

Tabela 23 – Rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e peso de mil sementes (g) sometidas a preparações homeopáticas.

Preparados	Rendimento ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	Peso de mil sementes (g)
<i>Silicea terra</i> 36CH	2908,7 a	232,2 a
<i>Phosphorus</i> 60CH	2910,5 a	231,0 a
<i>Phosphorus</i> 48CH	2083,0 b	198,4 b
<i>Silicea terra</i> 60CH	2511,0 ab	224,6 ab
Água destilada	2136,2 b	196,1 b
CV (%)	13,5	6,0

Medias seguidas da mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%. ns= não significativo. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### 4.5 CONCLUSÕES

As preparações homeopáticas utilizadas têm potencial na estimulação do desenvolvimento vegetativo do feijão (*Phaseolus vulgaris*). No entanto, foi evidente que o efeito vai depender da dinamização utilizada. Os melhores resultados foram obtidos com o preparado homeopático *Silicea terra* que proporcionou plantas com melhor desenvolvimento e produtividade a campo.

Nossos estudos demostram que a utilização de preparados homeopáticos é alternativa viável para obter rendimentos aceitáveis sem a necessidade de utilização de agroquímicos. Além disso, pode ser inclusa no desenvolvimento de estratégias para um manejo sustentável da cultura do feijoeiro. Portanto, a homeopatia aplicada na agricultura demonstra alto potencial de uso e tecnologicamente viável para ser utilizada em substituição de agroquímicos.

## 5 CONTRIBUIÇÃO DA HOMEOPATIA NA SUSTENTABILIDADE DE PROPRIEDADES EM AGRICULTURA FAMILIAR: CENÁRIO ALTERNATIVO

### 5.1 RESUMO

A agricultora familiar mostra-se em crescente vulnerabilidade ambiental e sócio-econômica e fragilizada no seu patrimônio cultural em que os conhecimentos são careados/cobrados nos tecno-insumos adquiridos no mercado. Sistemas de produção, baseados em pacotes tecnológicos dependentes de fontes energéticas fósseis, tem sua sustentabilidade muito questionada. No cenário de agricultura familiar, existe a necessidade de propor sistemas de produção com menor demanda de fonte de energia fóssil, cujas tecnologias sejam de baixo custo e amplo acesso. Em nosso estudo, objetivou-se avaliar o impacto na implementação da terapêutica homeopática em substituição de técnicas de intensificação convencionais pelo uso de agrotóxicos, mediante exploração de um cenário alternativo. A proposta de cenário alternativo foi realizada para seis tipologias de agricultura familiar na Mesorregião Serrana Catarinense, SC, Brasil. O cenário alternativo foi discutido empregando-se métricas de síntese em energia, potencial de ecotoxicidade e indicadores socioeconômicos. Os resultados apontaram que a contribuição da homeopatia, em um cenário alternativo, resultou na redução de 19% nos fluxos não renováveis nas propriedades de manejo convencional e uma diminuição de até 91% da ecotoxicidade na propriedade Grãos+Bovinos. Utilizando-se de homeopatia, a rentabilidade e a lucratividade podem ser aumentadas em até 43% e a renda, por hora de trabalho e suficiência de renda, de 20 e 16%, respectivamente. Ressalta-se neste estudo, o potencial impacto na implementação da terapêutica homeopática em diferentes tipologias de agricultura familiar, representadas na Serra Catarinense. Da mesma forma, sugere-se ampliar a discussão de planos estratégicos em políticas públicas, onde a Homeopatia possa contribuir na sustentabilidade de propriedades agrícolas familiares.

**Palavras-chave:** Terapêutica homeopática; Homeopatia integrativa; Intensificação; Integração; Conhecimento.

## 5.2 INTRODUÇÃO

O paradigma científico-tecnológico do modelo agrícola produtivista atual, foi desencadeado na premissa da falta de alimentos e justificado na intensa industrialização da agricultura (SILVA, 2017). As continuas inovações tecnológicas, dependentes de matrizes energéticas derivadas do petróleo, poderiam superar qualquer limite natural do progresso humano, da mesma forma os limites de produtividade de um cultivo/criação (PETERSON *et al.*, 2009). Esse modelo hegemônico, consolidado na década dos 60, como revolução verde, no hemisfério sul, orientava essencialmente no curto prazo a maximização da produtividade física das lavouras e criações, baseados na permanente disponibilidade de maquinarias, fertilizantes e pesticidas químicos (DALMORA; BATISTA, 2018).

Embora existam especulações se o pico de produção de petróleo já ocorreu ou ocorrerá em breve, a disponibilidade barata e acessível de combustível fóssil está cada vez mais restrita. Tecnologias dependentes de energia não renovável que sustentam o modelo hegemônico dominante tornam-se cada vez mais questionadas, em médio prazo, além de seus impactos no meio ambiente (CARVALHO, 2008; COMITRE, 1995). Apesar do “marketing” corporativo do agronegócio para seguir promovendo o desenvolvimento do seu industrial-consumista, é alarmante o esgotamento dos recursos naturais, a acumulação de resíduos tóxicos nos solos e águas e o êxodo rural não acomodado humanamente na crescente urbanização (COSTA, 2010).

Superar os complexos problemas causados pela intensa industrialização da agricultura requer a busca de abordagens que difiram de aquelas convencionalizadas pela “Revolução Verde” (SILVA, 2014). Tecnologias propostas devem harmonizar o cultivo e/ou criações que possam facilitar a expressão do potencial produtivo dos cultivos/criações com os recursos existentes no contexto regional/local do agrossistema (BOSS *et al.*, 2017). A implementação da Terapêutica homeopática na agricultura mostra-se altamente oportuna visto que as preparações são de domínio público, tem impacto integrativo nos subsistemas, pois se baseiam numa racionalidade diferente daquelas tecnologias que tem como centro a maximização dos fatores de produção (BOFF *et al.*, 2021). A homeopatia, como ciência, fornece recursos teórico-metodológicos capazes de dialogar com diversas perspectivas das Agri-Culturas sustentáveis (ANDRADE; CASALI, 2011). A terapêutica homeopática

trabalha no favorecimento da homeostase dos organismos vivos, efetivando as funções fisiológicas de plantas e animais sem efeitos residuais para o ambiente (ANDRADE; CASALI, 2011). Extensa literatura encontra-se disponível com resultados eficazes na substituição de agrotóxicos por tratamentos homeopáticos no rendimento (kg/ha) em culturas do feijão, arroz, hortaliças entre outras (SANTOS JUNIOR *et al.*, 2021; VERDI *et al.*, 2020; PULIDO *et al.*, 2014), além do seu potencial na capacidade no controle de doenças (OLIVEIRA *et al.*, 2014; TEIXEIRA *et al.*, 2017; RISSATO *et al.*, 2018). A implementação da terapêutica homeopática na agropecuária requer uma abordagem sistema da unidade produtiva (BOFF *et al.*, 2021). A literatura, disponível até o momento, carece de estudo sobre seu potencial em contribuir na sustentabilidade dos agrossistemas como um todo para além da substituição de insumos. Portanto, é necessário propor uma modelo conceitual, a priori, que contemple métricas/indicadores de sustentabilidade de sua implementação na agricultura familiar. Somado aos fatores acima mencionados, é necessário gerar informações científicas sobre a utilização da Homeopatia em sistemas agropecuários visando a integração e a harmonização dos organismos vegetais, animais e dos seres humanos entre si e com o ambiente em que habitam numa perspectiva sistêmica de sustentabilidade, principalmente em agrossistemas de base familiar.

Estudos em cenários alternativos ajudam a tomadas de decisões no lidar com políticas públicas baseados em proposições de possíveis mudanças, que geram potenciais mudanças em diferentes contextos (SHEARER, 2005). Segundo Fonseca *et al.* (2019), depois da análise de uma situação típica, é possível construir cenários para entender as implicações de uma mudança nos principais fatores de um sistema de produção.

O objetivo deste ensaio teórico foi avaliar o impacto pela implementação da terapêutica homeopática, em substituição das técnicas de intensificação tradicionais/convencionais, em propriedades familiares na Mesorregião Serrana Catarinense, SC, mediante a exploração de um cenário alternativo. Os resultados deste estudo poderão contribuir para discussão e proposição de relatórios no desenvolvimento de políticas públicas destinadas a promover agrossistemas sustentáveis e que garantam produção de alimentos sadios e saudáveis.

### 5.3 MATERIAL E MÉTODOS

A base de referência para comparação no cenário alternativo-homeopatia considerou-se as informações do diagnóstico das seis propriedades familiares caracterizadas no Capítulo 2, como sendo atual. Em seguida, foram propostos cenários de manejo de cultivos/criações com adoção da terapêutica homeopática em substituição aos agrotóxicos e seus impactos adjacentes, considerando redução de 20% dos adubos minerais e orgânicos. Esta decisão foi baseada em referências de publicações científicas que mostram que o uso de preparados homeopáticos em plantas tem efetividade no manejo fitossanitário e no restabelecimento de processos ecológicos o que os fazem mais eficientes no uso de nutrientes do solo (CARNEIRO; TEIXEIRA, 2018). Santos Junior *et al.* (2021) obtiveram entre 18 e 33% mais de rendimento (kg/ha) na cultura de feijão, com preparados homeopáticos em relação à testemunha (sem aplicação). Verdi *et al.* (2020), substituindo os agrotóxicos por preparações homeopáticas na cultura de arroz, obtiveram 21% mais de rendimentos (kg/ha), enquanto que Pulido *et al.* (2014), na cultura de repolho, obtiveram um incremento de 22% no tratamento com homeopatia em relação à testemunha.

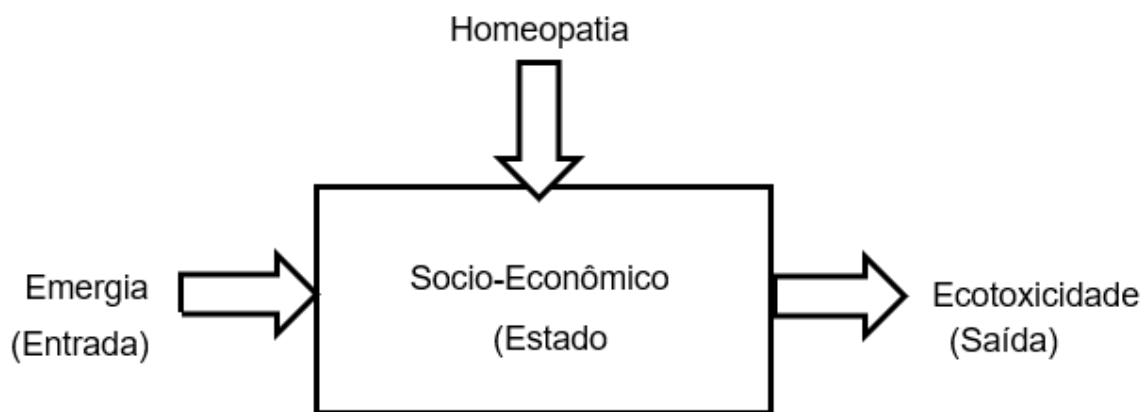
A UEV (valor unitário de energia) para análise em emergia de uma preparação homeopática foi calculada, considerando as regras da Farmacotecnia Homeopática Brasileira 3ª edição. A UEV foi calculada a partir da matéria prima mineral até a dinamização de 12CH (ordem de diluição centesimal hahnemanniana). A emergia gasta até essa dinamização foi considerada como entrada na propriedade. A quantidade de matriz homeopática considerada para ser inserida no sistema foi estimada proporcional ao tamanho das atividades agropecuárias de cada propriedade. Porém, baseado em que uma característica da homeopatia é influenciar nos sistemas biológicas com doses mínimas altamente diluídas isto sugere que a partir de pequenas quantidades de matriz homeopática, que entra na propriedade, é possível derivar em maior quantidade de volume, seguindo as regras de diluição e sucção centesimal da farmacopeia homeopática de 1:100 (TEXEIRA, 2021).

Nesse cenário de uso da homeopatia, a informação é considerada um fluxo importante na interiorização dos princípios da homeopatia nas propriedades familiares que possa dinamizar o sistema agrícola com um todo. Porém, diante da dificuldade em quantificar 'informação', decidiu-se adicionar 200 horas por ano dentro dos fluxos de mão de obra familiar. A justificativa é porque este seria o tempo gasto pelo

agricultor para se capacitar, refletir sobre a integração da homeopatia no seu sistema de produção e implementá-la adequadamente. O tempo sugerido foi baseado em consulta a especialistas na área de homeopatia e no curso de Homeopatia Integrativa do CAV-UDESC e EPAGRI.

Uma vez substituídos os “input”, foram calculados novamente os indicadores das métricas utilizadas (Emergia, Ecotoxicidade, Socioeconômicas) na análise de sustentabilidade (Capítulo 2), considerando, agora, o uso de preparados homeopáticos (Figura 23).

Figura 23 – Modelo conceitual de sustentabilidade (“Input-State-Output”).



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## 5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

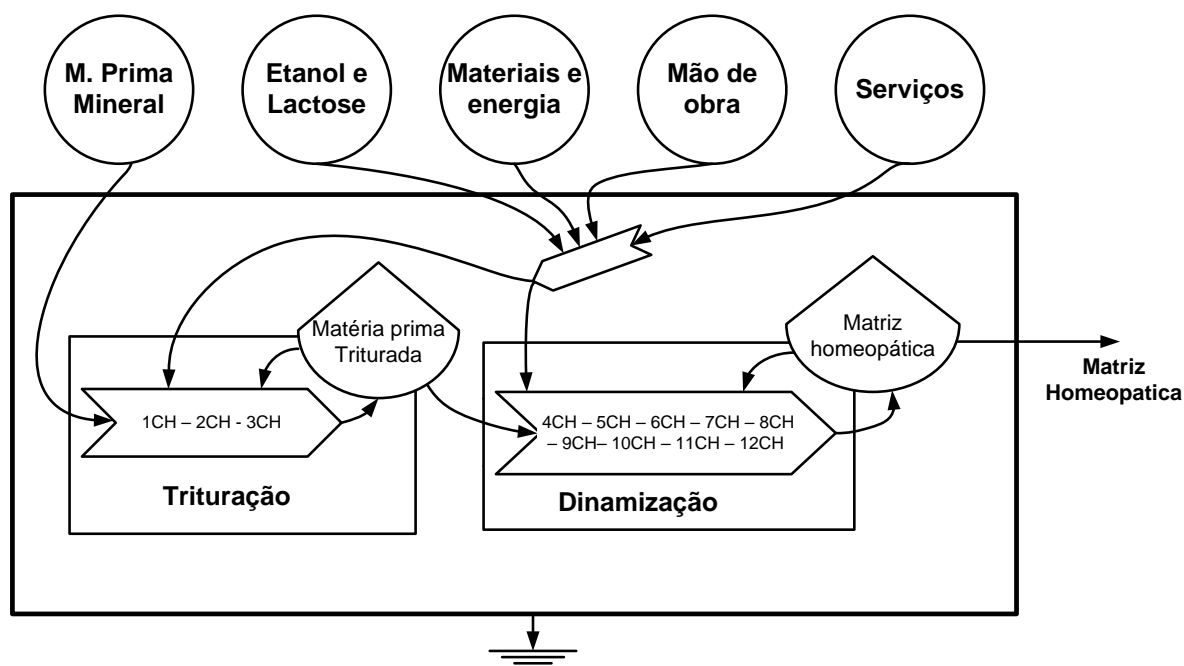
Os resultados aqui apresentados são oriundos dos ensaios teóricos em que o cenário de cada propriedade familiar (seis) tem insumos convencionais substituídos e/ou dispensados em função da implementação da terapêutica homeopática, na respectiva propriedade familiar. Porém, antes disso, como não existe UEV (valor unitário de emergia) disponíveis na literatura científica para preparações homeopáticas, pois é um assunto inovador, realizou-se o cálculo da Síntese em Emergia para a produção de um preparado homeopático, cuja UEV é em seguida utilizada nos cenários de substituição considerados.



### 5.4.1 UEV da preparação homeopática

Foi calculado o valor unitário de energia (UEV) de um preparado homeopático a partir de uma matéria prima mineral. O memorial de cálculo está disposto no Apêndice D. O procedimento segue o método Centesimal Hahnemanniano (CH) para drogas insolúveis da Farmacotecnia Homeopática Brasileira, 3ª edição. O primeiro passo no procedimento é a trituração de uma parte da matéria prima mineral em 99 partes de lactose (1CH), por ser a matéria-prima insolúvel em água/álcool. Para preparar a segunda potência, da primeira potência que foi triturada utilizou-se uma parte do primer triturado por 99 partes de lactose, e assim sucessivamente até obter a 3CH trituração, onde qualquer substância, a partir desta diluição, torna-se solúvel em etanol, a 20%. Consequentemente, a substância é diluída tomando-se uma parte da 3CH por 99 partes de etanol a 20% e sucussionando-se 100 vezes para obter a 4CH. O processo é repetido até ter a dinamização desejada, neste caso a 12CH, que é a matriz homeopática que mais tarde pode ser usado pelos agricultores para fazer suas respectivas derivações ao uso final (dispensação) segundo cada caso (Figura 24).

Figura 24 – Diagrama de sistema que mostra o processo de elaboração do preparado homeopático a partir de uma matéria prima mineral insolúvel até a 12 CH.



A Tabela 24 demonstra os fluxos de energia no processo de elaboração do preparado homeopático, sendo utilizada como matéria prima de referência cristais de óxido de sílica (*Silicea Terra*). A UEV da preparação homeopática foi calculada em  $2,66\text{E}+12$  sej/ml incluindo a energia da mão de obra (horas de trabalho) e os serviços (preços dos insumos), no qual a mão de obra e os serviços representam o 98,11% do uso total de energia para o processo de preparação até a 12CH. Esta seria a quantidade de energia por ml de preparado homeopático considerada como entrada nos cálculos das propriedades familiares apresentadas no próximo item, considerando a substituição de processos e insumos por homeopatia.

Tabela 24 – Tabela de avaliação em energia para 100ml de preparado homeopático

Ítem	Unid.	Fluxo de Entrada	sej/unid.	*Ref.	Energia total	Y (%)
Matéria prima:						
Sílica	g/proc**	3,00E-01	7,60E+08	(a)	2,28E+09	0,00
Materiais (M):						1,89
Cerâmica (Laboratório)	g/proc.	1,30E-01	2,55E+07	(b)	3,31E+06	0,00
Lactose	US\$/proc.	2,41E-01	4,26E+12	(c)	1,03E+12	0,39
Etanol	J/proc.	1,80E+07	3,68E+04	(d)	6,63E+11	0,25
Vidriaria (Laboratório)	g/proc.	2,33E-01	1,64E+09	(b)	3,82E+08	0,00
Equipamento (Dinamizador)	US\$/proc.	5,28E-01	4,26E+12	(c)	2,25E+12	0,84
Eleticidade	J/proc.	9,36E+06	1,16E+05	(d)	1,09E+12	0,41
Mão de obra e Serviços (L&S):						98,11
Mão de obra (Especializada)	J/proc.	1,00E+07	8,74E+06	(e)	8,78E+13	32,87
Serviços	US\$/proc.	4,07E+01	4,26E+12	(c)	1,73E+14	64,29
Total Energia (Y)	sej	2,66E+14			2,66E+14	
Total Outputs (Ep)	ml	1,00E+02				
UEV (sej/ml)	ml	2,66E+12				

\*Referências para UEV: (a)Brown *et al.* 2005, (b)Brown e Buranakarn, 2003, (c)Giannetti *et al.* 2018, (d) Agostinho e Ortega, 2013, (e)Bonilla *et al.* 2010. \*\*processo=8 hr. UEV= atualizadas linha base  $12,1\text{E}+24$  sej (BROWN e ULGIATI, 2016); Y(%)= porcentagem de energia em relação ao total. Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

#### **5.4.2 Cenário alternativo com uso de preparações homeopáticas nas propriedades de agricultura familiar**

O processo de integração da homeopatia nas propriedades familiares é ressaltado em vermelho na Figura 25. Este processo é fundamental para que o cenário proposto aqui se torne plausível.

Neste cenário, o “input” de informação refere-se aos princípios básicos e filosofias da ciência da Homeopatia que primeiro necessitam ser interiorizados pelo familiar rural e, após, transformados em conhecimentos. A anamnese do agrossistema, seguindo analogias com os sinais e sintomas da Matéria Médica Homeopática descrita para Seres Humanos, interage com o conhecimento do agricultor/a, criando um fluxo de sabedoria que determina o preparado homeopático mais adequado para posterior aplicação. Os fluxos informação-conhecimento-sabedoria permanecem constantes, de tal forma que, baseadas na práxis do agricultor possam ser adaptadas segundo as circunstâncias locais.

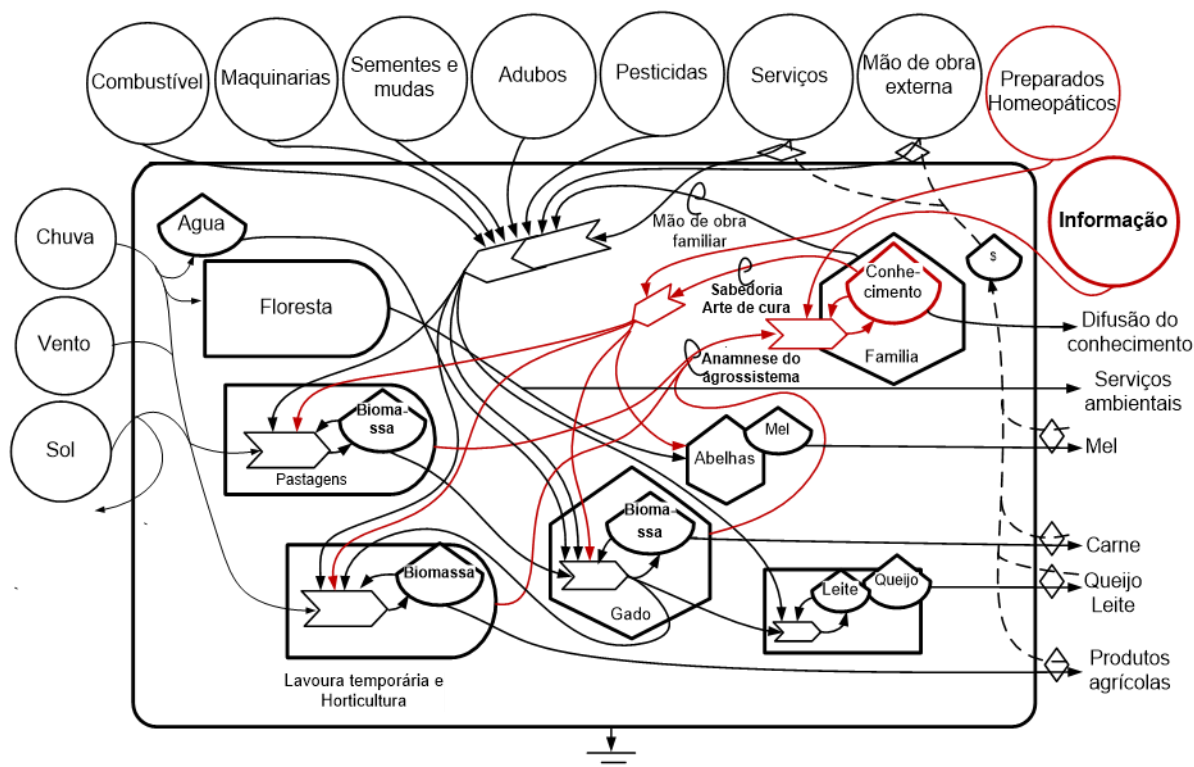
Assim, os processos envolvidos na integração da terapêutica homeopática nas propriedades familiares seguem uma sequência do tipo pirâmide “DIKW” (“data”, “information”, “knowledg” e “wisdom”) (BASKARADA; KORONIOS, 2015); onde as informações/ dados interpretados se transformam em conhecimento/informação incorporada no raciocínio e o conhecimento se transforme em sabedoria/capacidade de agir criticamente (ROWLEY, 2007).

Enquanto que, em outros “input”, o fluxo de entrada chega como pacote tecnológico, diretamente, nos sistemas de produção com o cenário da homeopatia, permite ao agricultor ser o principal gestor de decisões e mudanças. Segundo Boff (2013), um passo importante na implementação da homeopatia em agrossistemas é proporcionar ao agricultor os conhecimentos necessários na escolha de preparações homeopáticas mais adequadas ao dado caso. Isto favorece o conhecimento do agricultor/a para gerenciar e adaptar suas próprias tecnologias, nas circunstâncias vivenciadas.

A abordagem acima descrita pressupõe agrossistemas intensificados em conhecimentos, que substituiriam os atuais modelos de produção caracterizados por terem intensificados o uso de insumos os quais trazem junto de si o conhecimento embutido. Orlando *et al.* (2020) sugerem que o conhecimento gerado por um diálogo de saberes entre agricultor-extensionista forma parte fundamental para cria

tecnologias mais sustentáveis e sem apresentar padrões universais.

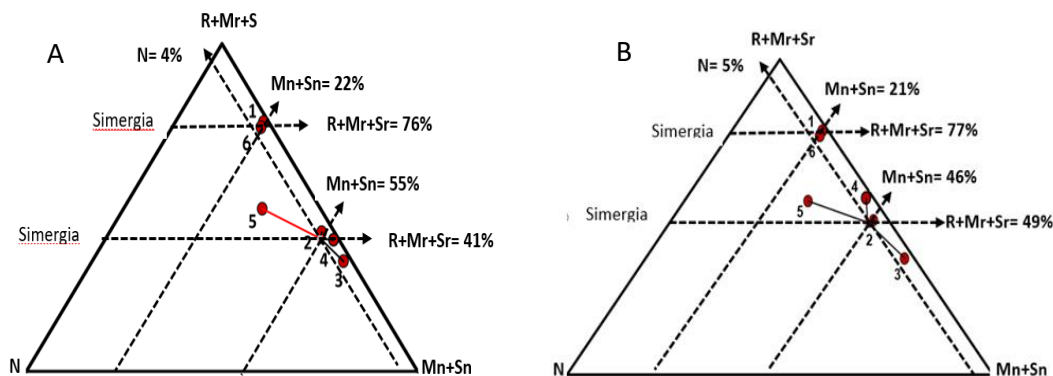
Figura 25 – Diagrama de energia em cenário com a integração de homeopatia, ressaltada em vermelho, em um modelo de propriedade familiar rurais na região da Serra Catarinense, SC, BR.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Substituindo alguns insumos pela terapêutica homeopática para modelar os cenários avaliados tem-se um novo desempenho em energia. Os dados de cálculo estão disponíveis no Apêndice D. Para o novo cenário, o uso de preparações homeopáticas prevê que a energia renovável aumente um 19% e a não renovável diminua um 16% nas propriedades de manejo convencional. Esta relação é de 1% em ambos os casos nas de base ecológica (Figura 26). A baixa taxa de câmbio, nas porcentagens de energia, é porque as preparações homeopáticas estão substituindo, principalmente aos pesticidas, os quais tem pouca contribuição no aporte total de energia no sistema.

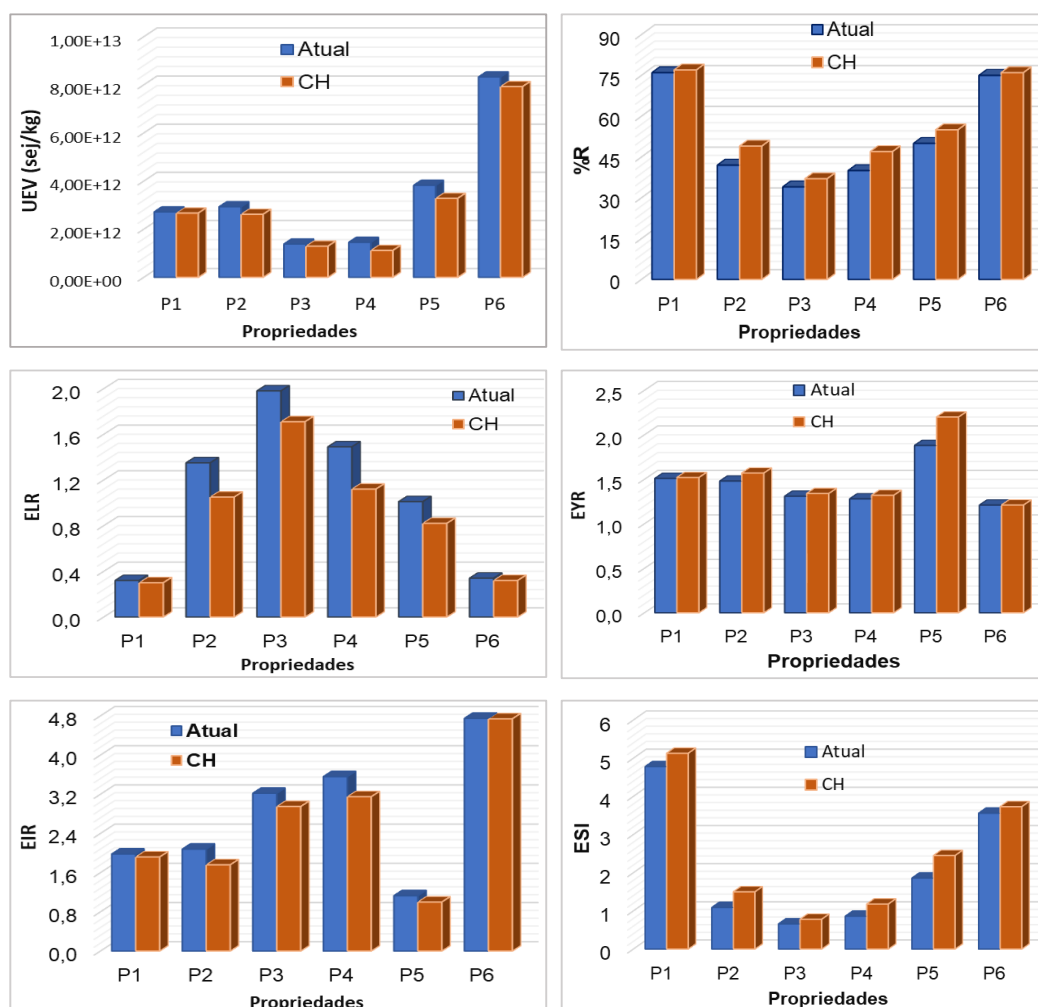
Figura 26 – Diagrama ternário mostrando o desempenho (simergia) ponderada das propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense no Cenário atual (A) e com o uso da homeopatia (B).



1= Agroecológica, 2= C-Grãos Bovino, 3= C-Leite Grãos, 4= C-Grãos, 5= C-Diversificada, 6= Orgânica.  
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Por outro lado, foi possível observar alterações nos valores dos indicadores, o que mostra que a homeopatia causa modificações nas relações de fluxos de energia renovável e não renovável. A propriedade C-Grãos apresentou a maior taxa de variação, diminuindo o seu UEV de  $1,45E+12$  a  $1,11E+12$  seu ELR de 1,49 a 1,12 e, aumentando seu %R de 40 a 47% e seu ESI de 0,86 a 1,18. Significando que, em um cenário otimizado com homeopatia, esta propriedade seria 23% mais eficiente no uso de energia, seu sistema de produção exerceria 23% menos pressão sobre o ambiente com 17,5% mais de energia renovável, resultando em um aumento de sua sustentabilidade ambiental de 37%. O indicador EIR teve maior taxa de câmbio na propriedade C. Grãos+Bovino passando de 2,08 a 1,76, o que significa que dependeria 15% menos da energia vindas do sistema econômico (Figura 27).

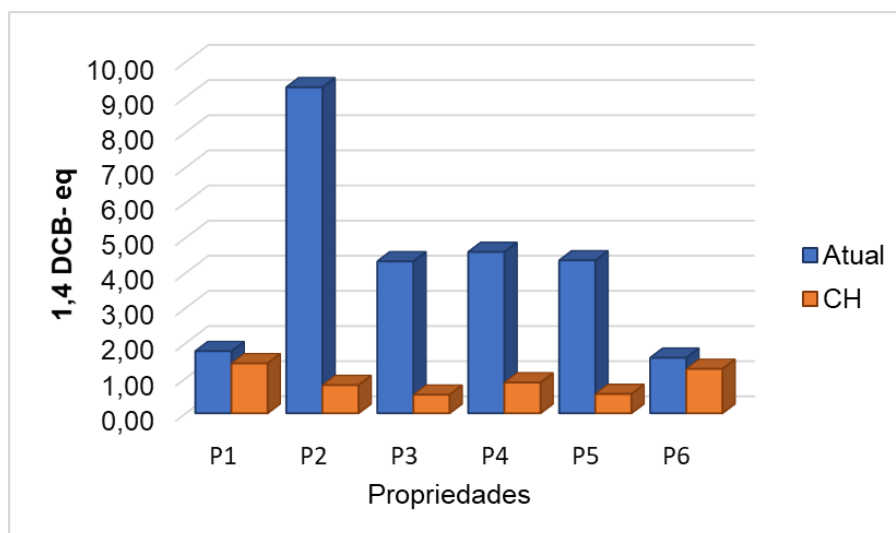
Figura 27 – Comparação entre os indicadores em energia para o cenário atual e otimizada com homeopatia nas propriedades familiares da Serra Catarinense, SC.



P1= Agroecológica, P2= Grãos Bovino, P3= Leite Grãos, P4= Grãos, P5= Diversificada, P6= Orgânica.  
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

Em relação ao potencial de ecotoxicidade houve uma redução entre 19,6 % (menor valor) e 91,4% (maior valor). As propriedades de manejo convencional foram as mais favorecidas, com menores valores finais de ecotoxicidade e as de base ecológica com os valores mais altos. Isto é decorrente da adubação com cama de aviário, no exemplo tomado a cama de aviário se faz presente, e a mesma aporta ao agrossistema alto conteúdo de metais pesados (Figura 28).

Figura 28 – Ecotoxicidade potencial atual (Atual) e otimizada com o uso de preparados Homeopáticos (CH) nas propriedades rurais familiares avaliadas na Serra Catarinense SC.



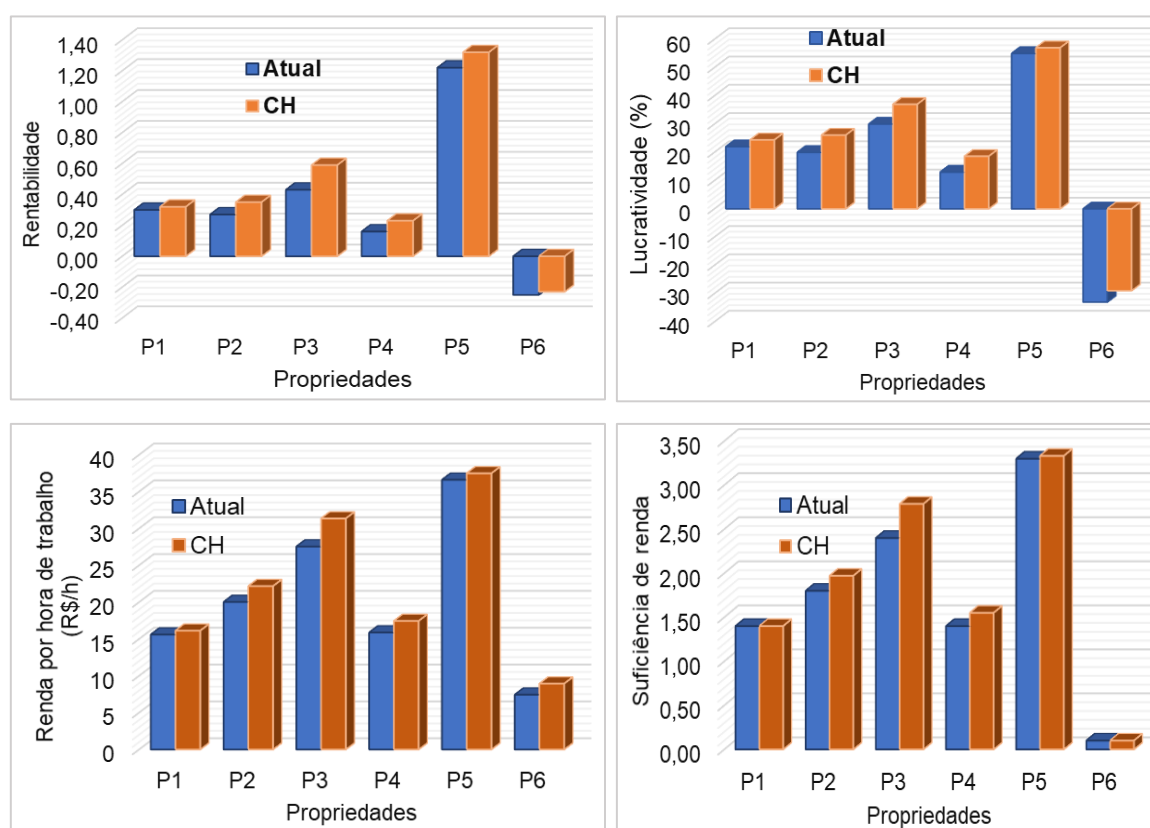
P1= Agroecológica, P2= Grãos Bovino, P3= Leite Grãos, P4= Grãos, P5= Diversificada, P6= Orgânica.  
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A integração de homeopatia nas propriedades rurais familiares traria, também, benefícios socioeconômicos. Ao substituir os pesticidas e uma porção dos fertilizantes, os custos de produção diminuem e, em consequência, os valores dos indicadores se modificam. A rentabilidade aumentaria de 0,30 para 0,32 (6,7%) na propriedade Agroecológica e de 0,16 para 0,23 (43,1%) na C\_Grãos. Embora, a lucratividade aumentaria um 3,6% na C\_Diversificada e 43,1% na C\_Grãos. Por outro lado, a homeopatia causaria um efeito de aumento na renda por hora de trabalho de 20%, na Orgânica, e suficiência de renda de 16% na C. Leite/Grãos (Figura 29).

A grande vantagem da homeopatia sobre outras tecnológicas é de que não precisa de grande quantidade de substância para causar efeito significativo nos indicadores. Sua influencia em sistemas agroecológicos é através de pequenas doses, infinitesimais, que trabalham no restabelecimento da vitalidade do organismo agrícola como um todo (TEXEIRA, 2021). Isto sugere uma diminuição nos custos de

produção e melhora nos indicadores socioeconômicos das propriedades familiares que vierem a implementar a terapêutica homeopática.

Figura 29 – Comparação dos indicadores socioeconômicos para o cenário atual (Atual) e com uso de preparações homeopáticas (CH).



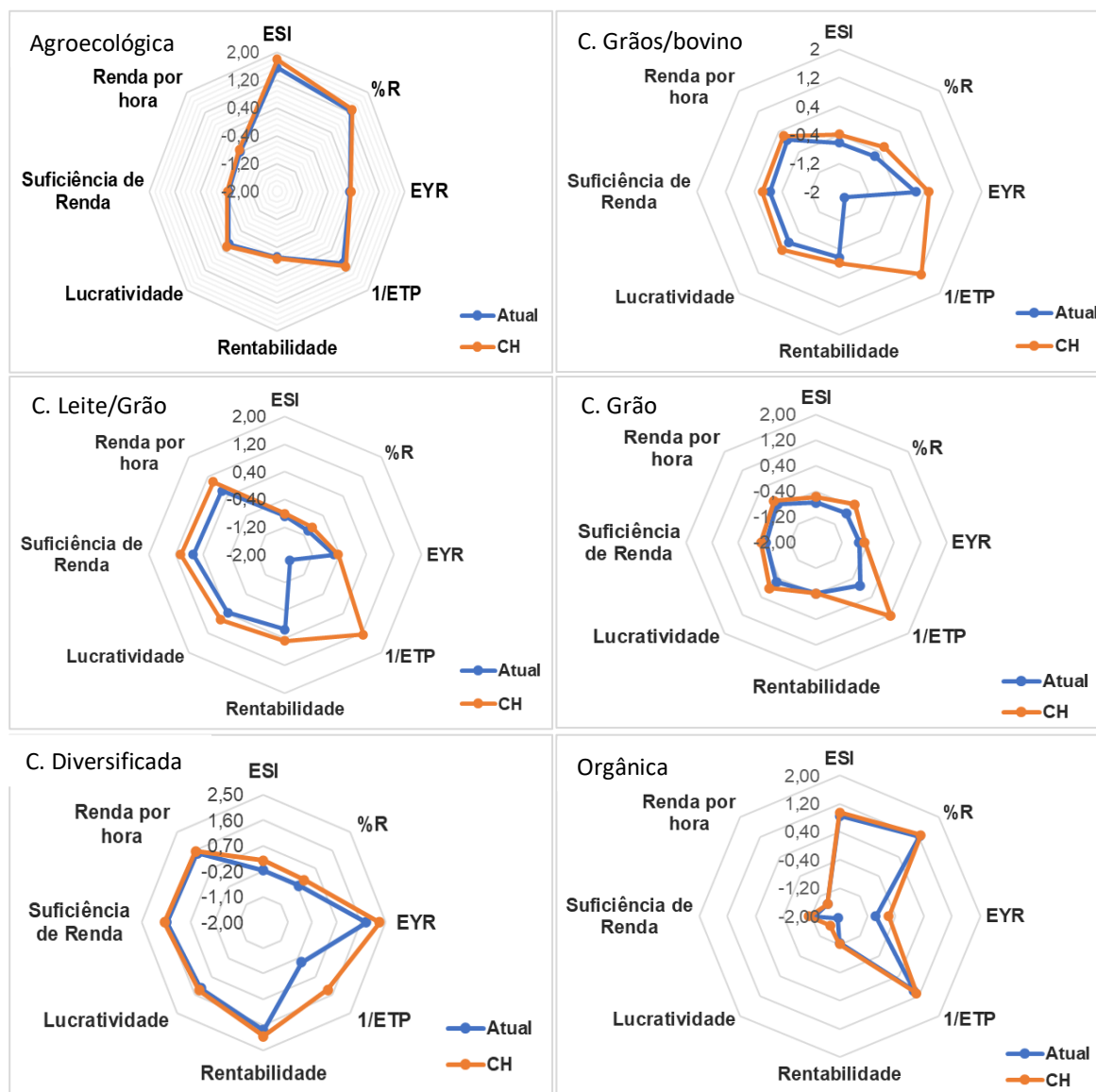
P1= Agroecológica, P2= Grãos Bovino, P3= Leite Grãos, P4= Grãos, P5= Diversificada, P6= Orgânica.  
Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

De modo geral, as principais taxas de troca dos indicadores estão nas propriedades que cultivam grãos e que se caracterizam por serem dependentes de agroquímicos (Figura 30). Assim, a Homeopatia realizaria importantes contribuições ambientais, principalmente em aqueles sistemas com mais necessidades de intervenção. Segundo Andrade e Casali (2011), a ciência da Homeopatia aporta importantes soluções tecnológicas que são consistentes com a perspectiva da construção de agrossistemas sustentáveis. Oliveira *et al.* (2014) também argumenta que a Homeopatia como terapia não residual e ambientalmente amigável representa uma alternativa viável para diminuir o uso de agroquímicos nos agrossistemas. Além disso, a homeopatia mostra ter potencial socioeconômico, por diminuir os custos de produção e melhorar os indicadores econômicos e sociais. Segundo Pacheco *et al.*



(2020), é uma alternativa viável e de baixo custo que contribui na rentabilidade financeira dos cultivos e Boff (2013) considera que a homeopatia facilita uma relativa independência dos agricultores sobre seu sistema de produção além de promover um livre intercâmbio de conhecimento com a sociedade. Lorenzo *et al.* (2021) relatam que a homeopatia, nos sistemas de produção agropecuários, reforça os três principais pilares da sustentabilidade, sendo que sua implementação representa: economicamente, baixo uso de matérias primas; ambientalmente, evita a utilização de substâncias agroquímicas e; socialmente, proporciona alimentos saudáveis e de qualidade para a sociedade.

Figura 30 – Comparação entre o cenário atual (Atual) e otimizado com homeopatia (CH) nas propriedades rurais familiares estudadas, região Serra Catarinense, SC.



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

## 5.5 CONCLUSÕES

A proposta de um cenário alternativo com a implementação da terapêutica homeopática mostra ter alto potencial para melhorar o desempenho ambiental e socioeconômico das propriedades rurais familiares na Serra Catarinense, SC, BR. Maior relevância foi observada em cenários com sistemas de manejo convencional, caracterizados por intensivo uso de agroquímicos. Portanto, a propriedade Convecional\_Grãos, com maiores variações nos indicadores avaliados, prevê que a

implementação da homeopatia pode aumentar em 37% a sustentabilidade ambiental, e redução de 91,4% seu potencial de ecotoxicidade. Na hipótese das propriedades familiares avaliadas adotarem a terapêutica homeopática em substituição das técnicas de intensificação tradicionais/convencional poderia ser mais eficiente o uso da energia de fontes externas, aumentariam a capacidade em explorar seus recursos locais e resultaria em produção de alimentos sadios/ saudáveis com custos mais baixos. Assim, a quantificação das contribuições da homeopatia na sustentabilidade de propriedades rurais familiares, com abordagem sistêmica de múltiplas perspectivas, fornece um importante subsídio na planificação de políticas públicas, destinadas a desenvolver agrossistemas com menor dependência de combustíveis fósseis e de maior aceitação para a sociedade.

Este estudo propicia, ainda, perspectiva inovadora referente ao valor unitário de energia (UEV) com a implementação da terapêutica homeopática em propriedades rurais. Informação essa, de suma importância para estudos posteriores que desejam analisar as contribuições da homeopatia na sustentabilidade de agrossistemas com abordagem sistêmica de Síntese em Energia.

## 6 DISCUSSÃO GERAL

A consciência sobre as limitações biofísicas de nosso planeta, aprofundados na década dos anos 70, potencializou esforços para desenvolver métricas que pudessem medir os impactos positivos e negativos das atividades antrópicas (GUIMARÃES; FEICHAS, 2009). Nosso estudo iniciou-se com uma fase de revisão bibliográfica, aplicando técnicas de análise bibliométricos, onde foram pesquisados artigos científicos que utilizam o método de síntese em emergia para avaliar a sustentabilidade de agrossistemas. Resultados demonstraram que foi possível compreender que o método é utilizado de forma crescente, tem robustez de análise e é eficaz na avaliação da sustentabilidade. Permite, ainda, ser possível complementar sua análise com outros indicadores/métricas de sustentabilidade, levando a conclusões mais abrangentes. Consequentemente, a revisão bibliometria forneceu ponto de apoio na seleção das métrica/indicadores que compõem o modelo conceitual (entrada-estado-saída) para avaliar a sustentabilidade de propriedades de agricultores familiares na Serra Catarinense.

Propriedades de base ecológicas, avaliadas, a partir de pesquisa a campo, mostraram serem ambientalmente mais sucedidas que as convencionais, nos indicadores das métricas de emergia, energia incorporada e ecotoxicidade. Porém, mais fracas em seu “estado” socioeconômico que as propriedades convencionais. Segundo Coscieme *et al.* (2013), essa abordagem fornece um recurso de análise sistêmica aos tomadores de decisões para identificar onde o agrossistema, em estudo, necessitaria priorizar as adequações. Enquanto que as tipológicas convencionais necessitam tecnologias, ambientalmente, mais amigáveis, as de base ecológica urgem adequar aspectos socioeconômicos, principalmente, no relacionando a disponibilidade de mão-de-obra.

Os resultados mostram que propriedades com maior diversificação de atividades agropecuárias, como é o caso da Convencional Diversificada e Agroecológica, em geral, tem melhor nível de sustentabilidade. Segundo Dalmora e Batista (2018), propriedades familiares com sistemas de produção mais diversificadas, integrando culturas e criações, são mais eficientes no uso dos recursos e, em consequência, se mostram mais resilientes ante o atual contexto de instabilidade socioeconômica e ambiental. No entanto, ainda é necessário fazer adequações de manejo, tendo em vista os indicadores de sustentabilidade mais equilibrados nos

aspectos ambientais e socioeconômicos. A diversificação de culturas, no modelo convencional, é fortalecida pelos indicadores socioeconômicos e, ao passo que, o modelo agroecológico é favorecido pelos indicadores ambientais.

O “input” de fertilizantes representa até 65% na emergência dos insumos/materiais das propriedades familiares com modelos convencionais, focalizadas na produção de grãos. Isto indica que são vulneráveis frente às oscilações do mercado internacional de fertilizantes. Segundo dados da Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos (BRASIL, 2021), o Brasil importa 80% dos fertilizantes e 21% dessa porcentagem vem da Rússia. Além disso, a sustentabilidade do modelo ainda se agrava ante o atual cenário (ano 2022) de instabilidade geopolítica com a guerra Rússia-USA/OTAN no território da Ucrânia, onde o principal fornecedor de fertilizantes poderia minimizar suas exportações. Logicamente que, propriedades familiares menos dependentes de insumos externos, frente a um cenário de escassez de insumos seriam mais bem sucedidas que aquelas como maiores dependências. Por outro lado, a solução do problema não se encontra, simplesmente na substituição de insumos. Por exemplo, se substituíssemos os fertilizantes químicos por adubos como a cama de aviário poderíamos estar gerando outro problema com é a contaminação por metais pesados. Segundo Parente *et al.* (2019), a cama de aviário é fonte contaminante de metais pesados para sistemas agrícolas, sendo bio-acumulados em plantas comestíveis, além do potencial de contaminação por lixiviação nos recursos hídricos.

Propriedades de base ecológicas estudadas podem estar satisfazendo as necessidades do mercado consumidor. Entretanto, sua viabilidade produtiva depende de alta quantidade de mão de obra familiar. Dessa forma, rendas das vendas dos produtos deveriam compensar, em tese, o trabalho do agricultor. A análise dos dados demonstra que a realidade não se reproduz dessa forma. Quando o trabalho do agricultor é contabilizado nos custos, o sistema é econômica e socialmente inviável. Isto poderia induzir a que o agricultor procure por outras atividades econômicas em trocas da produção agrícola com maiores lucratividades.

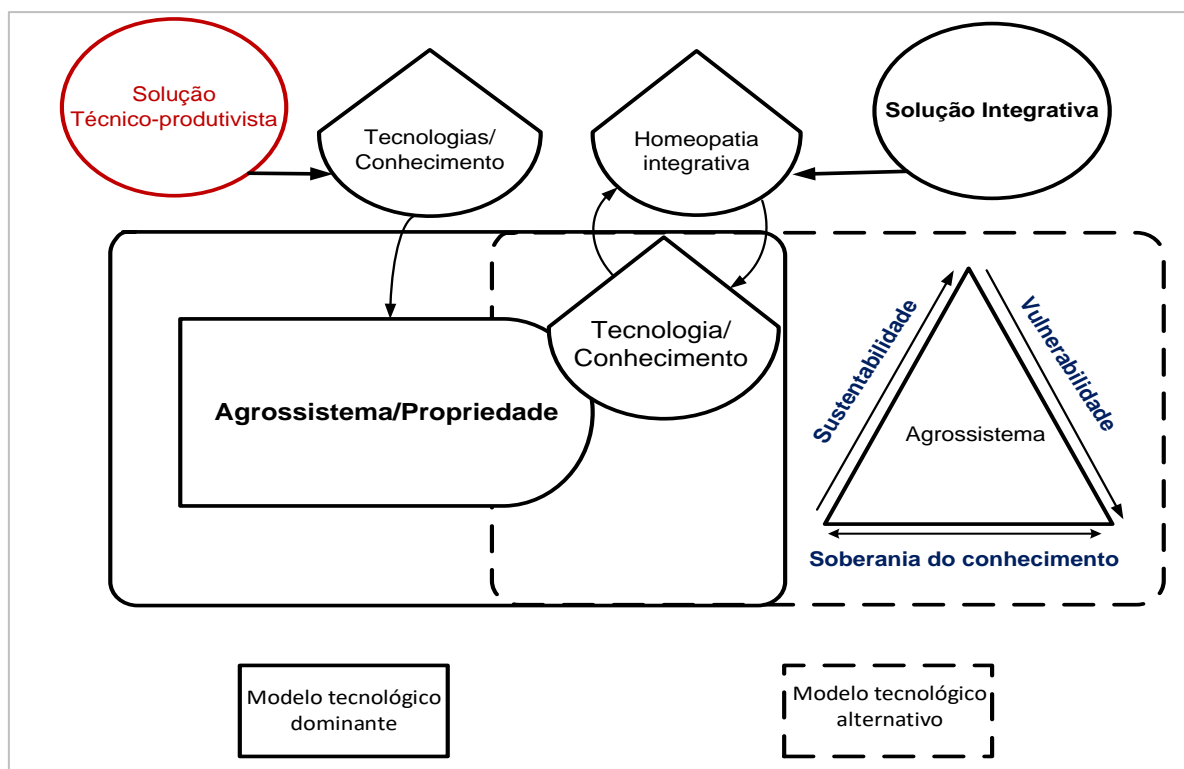
A sustentabilidade da agricultura familiar como fornecedoras de alimentos, necessita que a sociedade em geral incorporar atitudes de mudanças no comportamento de fascínio pelo consumo (ZANIRATO; ROTONDARO, 2016). Isto implica emancipar nosso pensamento do modo de vida consumista imposto pelas civilizações ocidentais para um pensamento contextualizado para nossa realidade que encaminhe um modo de vida mais sustentável (SILVA, 2017). Nesse sentido, políticas

públicas encaminhadas a desenvolver uma agricultura familiar sustentável necessitam ser construídas baseadas em tecnologias que difiram daquelas que sustentaram o início do atual modelo urbano-industrial-consumista, que está em crise (SILVA, 2014). Isto sugere desenvolver sistemas de produção menos dependentes de insumos externos e que garantam a sustentabilidade ambiental, social e econômica, entre outras, e que também garantam o empoderamento do agricultor como gestor de suas próprias decisões.

Na abordagem para otimizar o cenário atual das propriedades familiares, foi incorporado o uso de preparações homeopáticas, não sendo apenas uma substituição de insumos, mas sim como uma ciência que fornece recursos teóricos e metodológicos para gerenciar agrossistemas mais sustentáveis (ANDRADE; CASALI, 2011). A homeopatia permite que a dinâmica no agrossistema seja reativada, tendo a possibilidade que cultivos e animais expressem seu ótimo potencial em atributos produtivos.

A análise da exploração de um cenário alternativo mostra que em propriedades de agricultores familiares, a integração da homeopatia contribui na sustentabilidade ambiental e socioeconômica, sendo menos dependentes de “input” externos, caracterizados por sustentar-se em energias provenientes do petróleo. Porém, a seleção e integração de preparados homeopáticos encaminhados a manter o equilíbrio dinâmico das propriedades familiares/agrossistemas sugere que o agricultor/terapeuta mantenha um exercício constante para refletir criticamente sobre seu aprendizado, entendendo seu sistema de produção como um todo. Nesta abordagem, os agrossistemas intensificados/industrializados, no qual o conhecimento vem sendo vinculado aos pacotes tecnológicos, deveriam ser transformados em agrossistemas intensificados em conhecimentos, gerados a partir da contextualização da realidade local/regional do agricultor (Figura 31). Segundo Stoop *et al.* (2009) são necessárias mudanças fundamentais e estruturais na governança, desenvolvimento e entrega de conhecimento agrícola, orientado só por interesses comerciais, para processos participativos que desenvolvam inovações tecnológicas intensivas em conhecimentos adaptadas de acordo com a realidade do agricultor.

Figura 31 – Alternativa para melhorar o nível de sustentabilidade atual



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A homeopatia na agropecuária poderia formar parte das políticas públicas encaminhadas a desenvolver sistemas de produção mais resilientes às instabilidades no fornecimento de insumos industrializados do contexto atual. Mas, também, uma necessidade de aceitação nas discussões da ciência agroecológica como o propósito de robustecer a sustentabilidade da agricultura familiar, emancipando-se de tecnologias intenso-industriais, produtivistas e contaminantes.

Por último, propriedades familiares com sistemas de produção agroecológico e integrados poderiam ser promovidos e valorizados, também, através de políticas públicas. Desenvolvendo estratégias que possam integrar o agricultor, governos e a sociedade de tal maneira que possam minimizar as exigências de um mercado local e internacional, que demanda sistemas altamente produtivos e consequentemente dependentes de energias não renováveis.

## REFERÊNCIAS

- ABASOLO, P. F.; OJEDA-SILVERA, C. M.; CERVANTES-MOLINA, J. E.; MORAN-VILLACRESES, E.; VERA-AVILES, D.; GANCHOZO-MENDOZA, E. e MAZÓN-SUÁSTEGUI J. M. Respuesta agronómica del nabo (*Brassica napus* L.) a la aplicación de medicamentos homeopáticos. **Terra Latinoamericana**, v. 38, n.1, p. 183-198, 2020a.
- ABASOLO, P. F.; BONILLA-MONTALVÁN, C.; BERMEO-TOLEDO, Y.; FERRERSÁNCHEZ, A. J.; RAMÍREZ-CASTILLO, E.; MESA-ZAVALA, L.; LLERENA-RAMOS e MAZÓN-SUÁSTEGUI, J. M. Efecto de medicamentos homeopáticas em plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). **Terra Latinoamericana**, n. 38, p. 103-117, 2020b.
- AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E. Avaliação da Sustentabilidade de Sistemas de Produção Agrícola Através da Análise Emergética. In: II Congresso Brasileiro de Agroecologia. 2007.
- AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E. Integrated food, energy and environmental services production as an alternative for small rural properties in Brazil. **Energy**, n. 37, p. 103-114, 2012.
- AGOSTINHO, F.; DINIZ, G.; SICHE, R.; ORTEGA, E. The use of emergy assessment and the Geographical Information System in the diagnosis of small family farms in Brazil. **Ecological Modelling**, v. 210, n. 1-2, p. 37-57, 2008.
- AGOSTINHO, F.; OLIVEIRA, M.; PULSELLI, F.; ALMEIDA, C; GIANNETTI, B. F. Emergy accounting as a support for a strategic planning towards a regional sustainable milk production. **Agricultural Systems**, v. 176, p. 102647, 2019.
- ALBINO, J. C. T.; CALLADO, S. M. G. Agro-ecological evaluation of tropical farming systems using emergy: in Rio de Janeiro Brazil. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v.24, n.4, p. 361-370, 2012.
- ALLEN, P.; VAN, D. D.; LUNDY, J.; GLIESS- man, S. Integrating social, environmental, and economic issues in sustainable Agriculture. **American Journal of Alternative agricultura**, v.6, n. 1, p. 34-39, 1991.
- ALMEIDA, J. R.; DE AQUINO, A. R.; ALMEIDA, M. B. Avaliação Econômica de Agroecossistema Através da Energia Cultura. **Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento**, v. 5, n. 2, p. 55–59, 2003.
- AMARAL, L. P.; MARTINS, N.; GOUVEIA, J. B. A review of emergy theory, its application and latest developments. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 882-888, 2016.
- AMIRI, Z.; ASGHARIPOUR, M. R.; CAMPBELL, D. E.; ARMIN, M. A sustainability analysis of two rapeseed farming ecosystems in Khorramabad, Iran, based on



emergy and economic analyses. **Journal Of Cleaner Production**, v. 226, p. 1051-1066, 2019.

ANDRADE, F. M.; CASAL, V. W. Homeopatia. Agroecologia e sustentabilidade. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 6, n. 1, p. 49-56, 2011.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. Bibliometrix: an r-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal Of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.

ASGHARIPOUR, M. R.; SHAHGHOLI, H.; CAMPBELL, D. E.; KHAMARI, I.; GHADIRI, A. Comparison of the sustainability of bean production systems based on emergy and economic analyses. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, n. 1, p. 1-21, 2019.

APARECIDA, T.; MACIEL, S.; OLIVEIRA, S. De; RIBEIRO, R. M.; ALMEIDA, R. S.; KOWAL, A. N.; RIBEIRO, D. M.; PETRENTCHUK, L. W. Efeito de diferentes diluições de *Arsenicum 112Ibum* na germinação de sementes de bracinga (*Mimosa scabrella* Benth.). **Journal of Agronomic Sciences**, v. 9, n. 1, p. 16–23, 2020.

AVILA, P. Z. La sustentabilidad o sostenibilidad: un concepto poderoso para la humanidad. **Tabula Rasa**, n. 28, p. 409-423, 2018.

BARBANO, M. T.; BRUMINI, O.; WUTKE, E. B.; CASTRO, L.; GALLO, P. B.; KANTHACK, R. A.; MARTINS, A. L.M. Comparação entre valores observados e estimados de duração dos diferentes subperíodos de desenvolvimento da cultura do feijoeiro. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.1, p.103-110, 2001.

BARROS, I.de.; BLAZY, J.M.; RODRIGUES, G. S.; TOURNEBIZE, R.; CINNA, J. P. Emergy evaluation and economic performance of banana cropping systems in Guadeloupe (French West Indies). **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 129, n. 4, p. 437-449, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2008.10.015>.

BASKARADA, S.; KORONIOS, A. Data, Information, Knowledge, Wisdom (DIKW): A Semiotic Theoretical and Empirical Exploration of the Hierarchy and its Quality Dimension. **Australasian Journal of Information Systems**, v. 18, n. 1, p. 5–24, 2015.

BELLEN, H. M. V. Indicadores de sustentabilidade um levantamento dos principais sistema de avaliação. **Cadernos EBAPE.BR**, v.2, n.1, p. 1-14, 2004.

BEMJAMIN, A.; FARIAS, E. O papel da agricultura familiar para a diversificação e valorização da produção de alimentos pós-revolução verde no Brasil. **Revista de Direito Agrário e Agroambiental**, Minas Gerais, v.1, n. 2, p. 75-90, 2015.

BLANDI, M. L.; RAQUEL, M. R.; SARANDON, S. J. Influencia de factores contextuales en la adopción de modelos de agricultura insustentables. La incorporación del invernáculo en agricultores platenses. **Revista Facultad Uncuyo**, v. 50, n. 1, 2018.

BOMBARDI, I. M. Geografia do Uso de Agrotóxicos no Brasil e Conexões com a União Europeia. São Paulo: FFLCH-USP, 296 p. 2017.

BONATO, C. M. Homeopatia em Modelos Vegetais. **Cultura Homeopática**, n. 21, p. 24-28. 2007.

BONILLA, S. H.; GUARNETTI, R. L.; ALMEIDA, C. M. V. B.; GIANNETTI, B. F. Sustainability assessment of a giant bamboo plantation in Brazil: exploring the influence of labour, time and space. **Journal Of Cleaner Production**, v. 18, n. 1, p. 83-91, 2010.

BOFF, P.; PEDROSO, M. S.; OLIVEIRA, L.P. Homeopatia. In Dicionário de Agroecologia e Educação; alexandre, P., ed.; Expressão popular: Rio de Janeiro, Brasil, 2021; p. 439-446.

BOFF, P.; VERDI, R.; FAEDO, L. F. Homeopathy Applied to Agriculture. **Subtle Agroecologies**, p. 145-154, 2021.

BOFF, P. Building Homeopathy Into Agro-Ecology Science. *In*: Conferência Internacional de Homeopatia na Agricultura. Anais[...] Maringá-PR, Brazil. 2013.

BOFF, P. Agropecuária saudável: da prevenção de doenças. Pragas e parasitas à terapêuticas não residual. Lages: Epagri; Udesc, 2008, 80p.

BOSS, S. K.; MONTANA, Q.; BARNETT, B. Global agriculture as an energy transfer system and the energy yield of world agriculture 1961-2013. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 37, n. 1, p. 108-121, 2017.

BRASIL. Decreto N° 9.064 de 31 de maio de 2017. Dispõe sobre a unidade familiar de produção agrária, institui o cadastro nacional da agricultura familiar e regulamenta a lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece as diretrizes para a formulação da política nacional da agricultura familiar e empreendimentos familiares rurais. Brasília, DF: Presidência da República.

BRASIL. Farmacopeia homeopática Brasileira. Brasília: Anvisa, 2011, 364p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Portaria N°52, de 15 de março de 2021. Estabelece o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção e as listas de substâncias e práticas para o uso nos Sistemas Orgânicos de Produção, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: MAPA/ACS, 2009, 395p.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. Plano nacional de fertilizantes 2050 (PNF 2050). Brasília, 2021. 195p.

BENJAMIN, A. El papel de la agricultura familiar para la diversificación y valorización de la producción de alimentos después de la revolución verde en Brasil. **Revista de Direito Agrário e Agroambiental**, v.1, n.2, p. 75-90, 2015.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Emergy Measures of Carrying Capacity to Evaluate Economic Investments. Population and Environmental: **A Journal of Interdisciplinary Studies**, v. 22, n. 5, p. 471-501, 2001.

BROWN, M.T.; ULGIATI, S. Assessing the global environmental sources driving the geobiosphere: A revised emergy baseline. **Ecological Modelling**, v. 339, p.126-132, 2016.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Emergy Analysis and Environmental Accounting. **Encyclopedia of Energy**, v. 2, p. 329-354, 2004a.

BROWN, M. T.; ULGIATI, S. Energy quality, emergy, and transformity: H.T. Odum's contributions to quantifying and understanding systems. **Ecological Modelling**, v. 178, n. 2, p. 201-213, 2004b.

BROWN, M. T.; CAMPBELL, D.; COMAR, V.; HUANG, S. L.; RYDBERG, T.; TILLEY, D. R.; ULGIATI, S. Emergy Synthesis 3. Theory and Application of the Emergy Methodology. Proceedings from the Third Biennial Emergy Conference, Gainesville, Florida. p. 401-416, 2005.

CARNEIRO, S. M. T. P. G.; TEIXEIRA, M. Z. Homeopatia E Controle De Doenças De Plantas E Seus Patógenos. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, n. 3, p. 250–262, 2018.

CARVALHO, J. F. Combustíveis fósseis e insustentabilidade. **Ciência e Cultura**, v.60 n. 3. 2008.

CAVALETT, O.; QUEIROZ, J. F.; ORTEGA, E. Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil. **Ecological Modelling**, v. 193, n. 3-4, p. 205-224, 2006.

CAVALETT, O.; ORTEGA, E. Emergy, nutrients balance, and economic assessment of soybean production and industrialization in Brazil. **Journal Of Cleaner Production**, v. 17, n. 8, p. 762-771, 2010.

CHAMI, D. E.; DACCACHE, A.; MOUJABBER, M. E. How Can Sustainable Agriculture Increase Climate Resilience? A Systematic Review. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3119, 2020.

CHEN, D.; LIU, Z.; LUO, Z.; WEBBER, M.; CHEN, J. Bibliometric and visualized analysis of emergy research. **Ecological Engineering**, v. 90, p. 285-293, 2016.

CHEN, W.; LIU, W.; GENG, Y.; BROWN, M. K. T.; GAO, C.; WU, R. Recent progress on emergy research: a bibliometric analysis. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 73, p. 1051-1060, 2017.

CEDILLO, J. G. G.; GÓMEZ, L. I. A.; ESQUIVEL, C. E. G. Agroecología y sustentabilidad. **Convergencia Revista de Ciencias Sociales**, n. 46, p. 51-87, 2008.

CLARO, D. P.; LABAN, N. S. A.; CLARO, P. B. O. Sustainability drivers in food retail. **Journal Of Retailing And Consumer Services**, v. 20, n. 3, p.365-371, 2013.

COMITRE, V. A questão energética e o padrão tecnológico da agricultura Brasileira. **Informações Econômicas**, SP, v.25, n.12, 1995.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Portal de informações agropecuárias. Series históricas. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-serie-historica-dashboard>. Acesso em 26/06/2020.

COSTA, A. Sustainable agriculture I: Concepts. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 61–74, 2010.

COSCIEME, L.; PULSELLI, F. M.; JØRGENSEN, S. E.; BASTIANONI, S.; MARCHETTINI, N. Thermodynamics-based categorization of ecosystems in a socio-ecological context. **Ecological Modelling**, v. 258, p. 1-8, 2013.

CRISTIANO, S. Organic vegetables from community-supported agriculture in Italy: emergy assessment and potential for sustainable, just, and resilient urban-rural local food production. **Journal Of Cleaner Production**, v. 292, p.126015, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126015>.

CUADRA, M.; BJÖRKLUND, J. Assessment of economic and ecological carrying capacity of agricultural crops in Nicaragua. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 1, p. 133-149, 2007.

CUI, J.; YAN, P.; WANG, X.; YANG, J.; LI, Z.; YANG, X.; SUI, P.; CHEN, Y. Integrated assessment of economic and environmental consequences of shifting cropping system from wheat-maize to monocropped maize in the North China Plain. **Journal Of Cleaner Production**, v. 193, p. 524-532, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.104>

DAVID, L. H. C.; PINHO, S. M.; GARCIA, F. Improving the sustainability of tilapia cage farming in Brazil: an emergy approach: An emergy approach. **Journal Of Cleaner Production**, v. 201, p. 1012-1018, 2018.

DALMORA, E.; BATISTA, K. S. Perda da autonomia nos agroecossistemas camponeses. **Revista Expressão Científica**. v. 3, n.1, 2018.

DREBY, J.; JUNG, G.; SULLIVAN, R. At the nexus of work and family: family farms in upstate new york. **Journal Of Rural Studies**, v. 49, p. 151-161, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.12.001>.

EPAGRI-CEPA. Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina 2018-2019, 2019, 203p.

EPAGRI. Avaliação de cultivares para o estado de Santa Catarina (Epagri. Boletim técnico,186). 2018-2019 Florianópolis, 2018, 77p.

ERICK, N. Weak Versus Strong Sustainability – Exploring the Limits of Two Opposing Paradigms". **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 14, 2013.

FARIA, L. M. S. Aspectos gerais da Agroecologia no Brasil. **Revista Agrogeoambiental**, v. 6, n. 2, 2014.

FENG, J.; FENG, L.; WANG, J.; KING, C. W. Modeling the point of use EROI and its implications for economic growth in China. **Energy**, v. 144, p.232-242, 2018.

FOLADORI, G. Avanços e limites da sustentabilidade social. **R. paran. Desenv.**, n. 102, p. 103-113, 2002.

FONSECA, A. M. P.; MARQUES. C. A. F.; PINTO-CORREIA, T.; GUIOMAR, N.; CAMPBELL, D. E. Emergy evaluation for decision-making in complex multifunctional farming systems. **Agricultural Systems**, v. 171, p. 1–12, 2019.

FRANZESE, P. P.; RYDBERG, T.; RUSSO, G. F.; ULGIATI, S. Sustainable biomass production: A comparison between Gross Energy Requirement and Emergy Synthesis methods. **Ecological Indicators**, v. 9, n. 5, p.959-970, 2009.

FREITAS, S. E.; CASSIANO, C.; NILBE C. M.; CAROLINE V.; SILVA C; SILVA S.; WESLEY P. S. Curva de Crescimento e Produção de Milho Em Um Plintossolo Pétrico Sob Diferentes Preparados Homeopáticos. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciências do Solo. Anais. p.1-5, 2015.

GARCÍA-BERNAL, M.; OJEDA-SILVERA, C. M.; BATISTA-SÁNCHEZ, D.; ABASOLO-PACHECO, F. y MAZÓN-SUÁSTEGUI, J. M. Respuesta del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Quivicán a la aplicación de medicamentos homeopáticos. **Terra Latinoamericana**, v. 38, n.1, p.137-147. 2020.

GIANNETTI, B. F.; SEVEGNANI, F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; AGOSTINHO, F.; GARCÍA, R. R.M.; LIU, G. Five sector sustainability model: a proposal for assessing sustainability of production systems. **Ecological Modelling**, v. 406, p. 98-108, 2019.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. V. B.; AGOSTINHO, F.; BONILLA, S.H.; ULGIATI, S. Primary evidences on the robustness of environmental accounting from emergy. **Journal Of Environmental Accounting And Management**, v. 1, n. 2, p. 203-212, 2013. <http://dx.doi.org/10.5890/jeam.2013.05.007>.

GIANNETTI, B. F.; BARRELLA, F. A.; ALMEIDA, C..M. V. B. A combined tool for environmental scientists and decision makers: ternary diagrams and emergy accounting. **Journal Of Cleaner Production**, v. 14, n. 2, p. 201-210, 2006.

GUIMARÃES, R. P.; FEICHAS, S. A. Desafios na construção de indicadores de sustentabilidade. **Ambiente & Sociedade**, v.12, n.2, p. 307-323, 2009.

GUISCHEM, J. M.; SAN, L. M.; FIGUEIREDO, B.; SILVA, A. M. da. Desenvolvimento da área foliar e matéria seca da folha de feijão-caupi em relação aos graus-dia e radiação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15., 2007, Aracaju. Efeito das mudanças climáticas na agricultura: anais... Aracaju: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007.

GONÇALVES J. A. C.; YOSHIHARA, M. M.; CARVALHO, E. de; STREY, L.; MORAES, A. Jacobus de. Levels of nutrients and heavy metals in tarragon plants under different fertilizers. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 2, p. 233-240, 2015. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20150002>.

HARTLEY, B. H. The maximin F-ratio as a short-cut test for heterogeneity of variance. **Biometrika**, v.37, n.3/4. p. 308-312, 1950.

HE, X.; QIAO, Y.; LIU, Y.; DENDLER, L.; YIN, Ch.; MARTIN, F. Environmental impact assessment of organic and conventional tomato production in urban greenhouses of Beijing city, China. **Journal Of Cleaner Production**, v. 134, p. 251-258, 2016.

HENDRICK, J. R.; LIEBIG, M. A.; SASSENATH, G. F. Environment and integrated agricultural systems. **Renewable Agriculture and Food systems**, v 23, n. 4, p. 304-313, 2008.

HUIJBREGTS, M. A. J.; THISSEN, U.; GUINEE, J. B. Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment. Part I: calculation of toxicity potentials for 181 substances with the nested multi-media fate, exposure and effects model USES-LCA. **Chemosphere** v. 41, p. 541–573, 2000.

HOU, Q.; MAO, G.; ZHAO, L.; ZUO, J. Mapping the scientific research on life cycle assessment: a bibliometric analysis. **Int J Life Cycle Assess**, v. 20, p. 541–555, 2015.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Censo Agropecuário. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?=&t=downloads>. Acesso em 13/06/2020.

JÄGER, T.; SCHERR, C.; SHAH, D.; MAJEWSKY, V.; WOLF, U.; BETTI, L.; BAUMGARTNER, S. The use of plant-based bioassays in homeopathic basic research. **Homeopathy**, v. 104, n. 4, p. 277-282, 2015.

JAKLIČ, T.; JUVANČIČ, L.; KAVČIČ, S.; DEBELJAK, M. Complementarity of socio-economic and emergy evaluation of agricultural production systems: the case of 117 Slovenian dairy sector. **Ecological Economics**, v. 107, p. 469-481, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.09.024>.

JU, L. P.; CHEN, B. Embodied energy and emergy evaluation of a typical biodiesel production chain in China. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 14, p. 2385–2392, 2011.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.; HOMERO, A. Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro. Embrapa Arroz e Feijão. 2ed. Santo Antônio de Goiás, GO. Florianópolis. Epagri, 2009, 157p.

KOCJANČIČ, T.; DEBELJAK, M.; GAJNAR, J.; JUVANČIČ, L. Incorporation of emergy into multiple-criteria decision analysis for sustainable and resilient structure of dairy farms in Slovenia. **Agricultural Systems**, v. 164, p. 71-83, 2018.

KOZIOSKI, G. V.; CIOCCA, M. L. S. Energia e sustentabilidade em agroecossistemas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 4, p. 737-745, 2000.

LA ROSA, A. D.; SIRACUSA, G.; CAVALLARO, R. Emergy evaluation of Sicilian red Orange production. A comparason between organic and conventional farming. **Journal of Cleaner Production**, 16, p. 1907-1914, 2008.

LEFROY, E.; RYDBERG, T. Emergy evaluation of three cropping systems in southwester Australia. **Ecological Modelling**, v. 161, p.195-211, 2003.

LIM, S. R.; SCHOENUNG, J. M. Human health and ecological toxicity potentials due to heavy metal content in waste electronic devices with flat panel displays. **Journal Of Hazardous Materials**, v. 177, n. 1-3, p. 251-259, 2010.

LORENZO, F. D.; DINELLI, G.; MAROTTI, II.; TREBBI, G. Systemic Agro-Homeopathy: a new approach to agriculture. **Obm Integrative And Complementary Medicine**, v. 06, n. 03, p. 1-10, 2021.

LU, H.; BAI, Y.; REN, H.; CAMPBELL, D. E. Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: implications for agricultural policy in china: Implications for agricultural policy in China. **Journal Of Environmental Management**, v. 91, n. 12, p. 2727-2735, 2010.

LU, H. F.; KANG, W. L.; CAMPBELL, D. E.; REN, H.; TAN, Y. W.; FENG, R. X.; LUO, J. T.; CHEN, F. P. Emergy and economic evaluations of four fruit production systems on reclaimed wetlands surrounding the Pearl River Estuary, China. **Ecological Engineering**, v. 35, n. 12, p. 1743-1757, 2009.

MARGNI, M.; ROSSIER, D.; CRETTEZ, P.; JOLLIET, O. Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. **Agriculture Ecosystems and Environmental**, v. 93, p. 379-392, 2002.

MARKUSSEN, M. V.; KULAK, M.; SMITH, L.; NEMECEK, TH. Evaluating the sustainability of a small-scale low-input organic vegetable supply system in the United Kingdom. **Sustainability (Switzerland)**, v. 6, n. 4, p. 1913–1945, 2014.

MARTÍ, J. F.; KÜSTER, A.; QUEMEL, P. **Agroecología, manejo de pragas e doenças**. n. 10, 2010.

MARTIN, J. F.; DIEMONT, S. A. W.; POWELL, E.; STANTON, M.; LEVY-TACHER, S. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural



systems with different scales and management. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 115, n. 4, p. 128-140, 2006.

MORENO, N. M. Agrohomeopatia como alternativa a los agroquímicos. **Revista Médica de Homeopatía**, v. 10, n.1, p. 9-13, 2017.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.homeo.2017.04.004>.

MORENO, L. L. V. Diagnóstico de la complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en sistema de producción agropecuaria en transición hacia la sostenibilidad y la resiliencia. **Agroecología**, v.8, n.1, p. 33-42, 2013.

MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D. Preferred reporting 119tems for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **Annals of Internal Medicine**, v. 151, n. 4, p. 264-269, 2009.

MODOLON, T. A.; BOFF, P.; BOFF, M. I. C.; MIQUELLUTI, D. J. Homeopathic and high dilution preparations for pest management to tomato crop under organic production system. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 51-57, 2012.

NAKAJIMA, E. S.; ORTEGA, E. Exploring the sustainable horticulture productions systems using the emergy assessment to restore the regional sustainability. **Journal Of Cleaner Production**, v. 96, p. 531-538, 2014.

NITA (NÚCLEO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA PARA AGRICULTURA FAMILIAR). Alguns números da agricultura familiar. Sua importância para Santa Catarina, Setembro 2017, 5p.

ODUM, H.T. **Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making**. John Wiley and Sons. New York, 1996.

OLIVEIRA, M. A. Mundo rural (economia, trabalho e migrações) na Serra Catarinense/Brasil: elementos para discussão da centralidade do trabalho agrícola no meio rural no contexto de sua reestruturação produtiva na atualidade. **Jornal de políticas educacionais**, v. 10, n. 20, p. 106-117, 2016.

OLIVEIRA, J. S. B.; ALINE A. J.; KTIA, R. F. S.; CARLOS, M. B.; SOLANGE, M. T. P. G.; MARCELO, H. S. P. Activation of biochemical defense mechanisms in bean plants for homeopathic preparations. **African Journal Of Agricultural Research**, v. 9, n. 11, p. 971-981, 2014.

ORLANDO, F.; ALALI, S.; VAGLIA, V.; PAGLIARINO, E.; BACENETTI, J.; BOCCHI, S.; BOCCHI, S. Participatory approach for developing knowledge on organic rice farming: management strategies and productive performance. **Agricultural Systems**, v. 178, p. 102739, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102739>.

ORTEGA, E.; ANAMI, M.; DINIZ, G. Certification of Food Products Using Emergy Analysis. 2002. Disponível em: <https://www.unicamp.br/fea/ortega/soja/artigo-Italia-2002.pdf>. Acesso em: 07 de julio de 2021.



ORTEGA, E.; CAVALETT, O.; BONIFÁCIO R.; WATANABE, M. Brazilian Soybean Production. Emergy Analysis With na Expanded Scope. **Bulletin of Science, Technology & Society**, v. 25, n. 4, p. 323-334, 2005.

PACHECO, F. A.; MONTALVÁN, B. B.; TOLEDO, C. B.; SÁNCHEZ, Y. F.; CASTILLO, A. R.; ZAVALA, E. M.; SUÁSTEGUI, J. M. M.; RAMOS, L. Efecto de medicamentos homeopáticos en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). **Revista Terra Latinoamericana**, v. 38, n. 1, p. 103, 23, 2020.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. P.; MASSIGNAN, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R. **Atlas climatológico digital do estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002.

PARENTE, C. E. T.; LINO, A. S.; ARRUDA JUNIOR, E. R.; ZONTA, E.; DORNELES, R.; TORRES, J. P. M.; MEIRE, R. O.; MALM, O. Multi-temporal accumulation and risk assessment of available heavy metals in poultry litter fertilized soils from Rio de Janeiro upland region. **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 191, n. 1, p. 233-240, 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-018-7156-7>

PARENTE, C. E. T.; LINO, A. S.; ARRUDA JUNIOR, E. R.; ZONTA, E.; DORNELES, P. R.; TORRES, J. P. M. Multi-temporal accumulation and risk assessment of available heavy metals in poultry litter fertilized soils from Rio de Janeiro upland region. **Environ Monit Assess**, v. 191, n. 28, p. 1;13, 2019.

PATRIZI, N.; NICCOLUCCI, V.; CASTELLINI, C.; PULSELLI, F. M.; BASTIANONI, S. Sustainability of agro-livestock integration: implications and results of emergy evaluation. **Science Of The Total Environment**, v. 622, p. 1543-1552, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.029>.

PEREIRA, C. L. F.; ORTEGA, E. Sustainability assessment of large-scale ethanol production from sugarcane. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 1, p. 77–82, 2010.

PEREIRA, P. A. A. O desafio do novo sistema de produção de alimentos. **Revista Cincia, Tecnologia & Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 1-2, 2018. <http://dx.doi.org/10.4322/2359-6643.07100>.

PEREIRA, V. G. C.; GRIS, D. J.; MARANGONI, T.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. Exigências Agroclimáticas para a Cultura do Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, p. 32-42, 2014.

PETERSON, P.; WEID, J. M.; VON D.; FERNANDES, G. B. Agroecologia: reconciliando agricultura e natureza. **Informe Agropecuário**, v. 30, n. 252, p. 1–9, 2009.

PINHEIRO, P. L. G. O enfoque sistêmico e o desenvolvimento rural sustentável: Uma oportunidade de mudança da abordagem *hard systems* para experiências com *soft systems*. **Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 1, n. 2, p. 27-37, 2000.

PIGNATI, W. A.; LIMA, F. A. N.; LARA, S. S.; CORREA, M. L. M.; BARBOSA, J. R.; LEÃO, L. H. da Costa; PIGNATTI, M. G. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a vigilância em saúde. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3281-3293, 2017.

PINHEIRO, R. A.; DUARTE, V. C.; BEVILAQUA, G. A. P.; ANTUNES, I. F. Efeito de preparados homeopáticos no vigor de sementes e desenvolvimento de plântulas de feijão. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 2, p. 379-386, 2019.

PULIDO, E. E.; BOFF, P.; DUARTE, T. S.; BOFF, M. I. C. Preparados homeopáticos en el crecimiento y en la producción de repollo cultivado en sistema orgánico. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 267-272, 2014.

PULIDO, E.; PEDRO, B.; DUARTE, T.; BOFF, M. I. High dilution preparation for organic production system of broccoli. **Agronomia Colombiana**, v. 35, n. 1, p. 53-58, 2017.

PULSELLI, F. M.; COSCIEME, L.; BASTIANONI, S. Ecosystem services as a counterpart of emergy flows to ecosystems. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 16, p. 2924-2928, 2011.

PULSELLI, F.M.; COSCIEME, L.; NERI, L.; REGOLI, A.; SUTTON, P.C.; LEMMI, A.; BASTIANONI, S. The world economy in a cube: a more rational structural representation of sustainability. **Global Environmental Change**, v. 35, p. 41-51, 2015.

RASUL, G.; THAPA, G. B. Sustainability of ecological and conventional agricultural systems in Bangladesh: an assessment based on environmental, economic and social perspectives. **Agricultural Systems**, v. 79, n. 3, p. 327-351, 2004.  
[http://dx.doi.org/10.1016/s0308-521x\(03\)00090-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0308-521x(03)00090-8).

RICCIARDI, V.; RAMANKUTTY, N.; MEHRABI, Z.; JARVIS, L.; CHOOKOLINGO, B. How much of the world's food do smallholders produce?. **Global Food Security**, v. 17, p. 64-72, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gfs.2018.05.002>

RISSATO, B. B.; STANGARLIN, J. R.; DILDEY, O. D. F.; SILVA, C.R da; GONÇALVES-TREVISOLI, E. V.; COLTRO-RONCATO, S.; WEBLER, T. F. B.; KUHN, O. J.; ALVES NETO, A. J. Fungitoxicity activity of Phosphorus and Calcareo carbonica against Sclerotinia sclerotiorum and control of white mold in common bean (*Phaseolus vulgaris*) with extremely diluted aqueous solutions. **Australian Journal Of Crop Science**, v.12, n. 4, p. 546-551, 2018.

RISSATO, B. B.; STANGARLIN, S. J.; COLTRO-RONCATO, S.; DILDEY D. F.; EDILAINE, G. C. A.; LALINE, B.; ODAIR, J. E. K.; ELOISA, L.; THAISA, M. M.; ELIANA, P. C. O. Control of white mold in bean plants by homeopathic medicines. **African Journal Of Agricultural Research**, v. 11, n. 24, p. 2174-2178, 2016.

RODRÍGUEZ, P. P.; MELO, C. V.; RODRÍGUEZ, E. O. El análisis energético como herramienta para evaluar la sustentabilidad en dos sistemas productivos. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, v, 23, n, 4. p.59-63, 2014.

ROWLEY, J. The wisdom hierarchy: representations of the dikw hierarchy. **Journal Of Information Science**, v. 33, n. 2, p. 163-180, 2007.  
<http://dx.doi.org/10.1177/0165551506070706>.

SANTOS JUNIOR, C.F.dos; CORREOSO, C.C; COPACHESKI, M; BOFF, P; BOFF, M.I. C. High dynamic dilutions and genetic variability to phytosanitary management and yield of beans (*Phaseolus vulgaris* L). **Australian Journal of Crop Science**, n. 1506, p. 821-826, 2021.

SANTOS, F. M.; MONFORT, L. E. F.; CASTRO, D. M.; PINTO, J. E. B. P.; LEONARDI, M.; PISTELLI, L. Characterization of Essential Oil and Effects on Growth of *Verbena gratissima* Plants Treated with Homeopathic Phosphorus. **Natural Product Communications**, v.6, n. 10, 2011.

SANTOS, G.; PONTES, M. Na exploração do impacto fator de Brazilian publications in indexen journals on homeopathy and high dilutions applied in plants. **Acta biomédica Brasiliensia**, v. 4, n. 2, p. 21-34, 2013.

SANZ, A. B.; FRANCO, M. J. S.; GRAU, E. G. Homeopatia. **Fundamentos científicos. Actualizaciones**, v. 6, n. 3, p 70-78, 1999.

SARTORI, S.; LATRÔNICO, F.; CAMPOS, L. M. S. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 1, p. 01–22, 2014.

SHEARER, A. W. Approaching Scenario-Based Studies: three perceptions about the future and considerations for landscape planning. **Environment And Planning B: Planning and Design**, v. 32, n. 1, p. 67-87, 2005.

SILVA, J. de S. Agroecologia: uma ciência para a vida e não para o desenvolvimento. **Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília**, v. 31, n. 1, p.163-168, 2014.

SILVA, J. de S. Agroecologia e a ética da inovação na agricultura. *Redes Santa Cruz do Sul: Universidade de Santa Cruz do Sul*, v. 22, n. 2, p. 352-373, 2017.

SILVA, M. M.; DOMINGUES, S.; BONADIMAN, A. Avaliação de intoxicação por agrotóxicos e práticas de uso de trabalhadores rurais na Serra Catarinense. **Brazilian Journal Of Development**, v. 5, n. 9, p. 15190-15204, 2019.

SOUZA, A. de M.; PEREIRA, R. A.; YOKOO, E. M.; SICHIERI, R. Alimentos mais consumidos no Brasil: Inquérito Nacional de Alimentação 2008 -2009. **Rev. Saúde Pública**, v. 47. p.190-199, 2013.

SOUZA, C. da Costa; AMARAL SOBRINHO, N. M. Brasil do; LIMA, E. S. A.; LIMA, J. de Oliveira; CARMO, M. G. Ferreira do; GARCÍA, A. C. Relation between changes in

organic matter structure of poultry litter and heavy metals solubility during composting. **Journal Of Environmental Management**, v. 247, p. 291-298, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.072>.

STOOP, W. A.; ADAM, A.; KASSAM, A. Comparing rice production systems: a challenge for agronomic research and for the dissemination of knowledge-intensive farming practices. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. 11, p. 1491-1501, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2009.06.022>.

SU, Y.; HE, Sh. WANG, K.; SHAHTAHMASSEBI, A. R.; ZHANG, L.; ZHANG, J.; ZHANG, M.; GAN, M. Quantifying the sustainability of three types of agricultural production in China: an emergy analysis with the integration of environmental pollution. **Journal Of Cleaner Production**, v. 252, p. 119650, 2020.

MAZÓN-SUÁSTEGUI, J. M.; OJEDA, C. M.; BERNAL, M. G.; SÁNCHEZ, D. B.; MESA, A. D. G.; ZAVALA, E.M. Efectos de medicamentos homeopáticos en indicadores fisiológicos y del desarrollo inicial del frijol Yorimón (*Vigna unguiculata* L., Walp.). **Revista Terra Latinoamericana**, v. 38, n. 1, p. 13-23, 2020. <http://dx.doi.org/10.28940/terra.v38i1.581>.

TEIXEIRA, M. Z. Scientific evidence of the homeopathic epistemological model. **International Journal Of High Dilution Research - Issn 1982-6206**, v. 10, n. 34, p. 46-64, 23, 2021.

TEIXEIRA, M. Z.; CARNEIRO, S. M. T. Effects homeopathic high dilutions on plants: literature review. **Revista de Homeopatia**, v. 80, n.3/4, p.104-121, 2017.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

TOLEDO, M. V.; STANGARLIN, J. R.; BONATO, C. M. Controle da pinta preta e efeito sobre variáveis de crescimento em tomateiro por preparados homeopáticos. **Summa Phytopathologica**, v. 41, n. 2, p.126-132, 2015.

TORO, P.; GARCIA, A.; GOMEZ-CASTRO, A. G.; PEREA, J.; ACERO, R.; RODRIGUEZ-ESTEVEZ, V. Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas. **Arch. Zootec**, v. 59, p.71-94, 2010.

TORELL, P. D. Earth 2020: science, society, and sustainability in the anthropocene. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, v. 117, n. 16, p. 8683-8691, 2020.

ULGIATI, S.; RAUGEI, M.; BARGIGLI, S. Overcoming the inadequacy of single-criterion approaches to Life Cycle Assessment. **Ecological Modelling**, n.190, p. 432-442, 2006.

ULGIATI, S.; BROWN, M. Emergy and ecosystem complexity. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, n. 14, p. 310-321, 2009.

ULGIATI, S.; BROWN, M. Labor and Services as Information Carriers in Emergy-LCA Accounting. **Journal of Environmental Accounting and management**, v. 2, n. 2, p.163-170, 2014.

VARGAS, D. L.; HILLIG, C.; NETTO, T. A. A Necessidade de Agroecossistemas Sustentáveis Frente ao Cenário Social e Ambiental na Atualidade. **Monografias Ambientais**, v.10, n.10, p.2260-2269, 2012.

VERDI, R.; VERDI, R.; NUNES, A.; FAEDO, L. F.; BOFF, P. Manejo homeopático no cultivo de arroz irrigado. **Brazilian Journal Of Development**, v. 6, n. 9, p. 65540-65549, 2020.

VEIGA, J.P.S; ROMANELLI, T.L; GIMENEZ, L.M; BUSATO, P; MILAN, M. Energy embodiment in Brazilian agriculture: an overview of 23 crops. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 6, p. 471-477, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0188>.

WANG, Q.; MA, Z.; MA, Q.; LIU, M.; YUAN, X.; MU, R.; ZUO, J.; ZHANG, J.; WANG, S. Comprehensive evaluation and optimization of agricultural system: an emergy approach. **Ecological Indicators**, v. 107, p. 1-21, 2019.

WINCK, C. A.; PASQUA, S. D.; FISCHER, A.; GIANEZI, M. Processo Sucessório em Propriedades rurais na Região Oeste de Santa Catarina. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 11, n. 2, p. 115-127, 2013.

YU, X.; CHEN, G.; ZHANG, X.; ZHANG, J.; JIANG, L.; ZHU, H.; FENG, Z.; LI, Y.; FENG, T.; ZHANG, X. Migration and Accumulation of Heavy Metals in a Chicken Manure-Compost-Soil-Apple System. **Polish Journal Of Environmental Studies**, v. 30, n. 4, p. 3877-3883, 2021.

ZANIRATO, S. H.; ROTONDARO, T. Consumo, um dos dilemas da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 77-92, 2016.

ZHANG, G.; LONG, W. A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future. **Energy Policy**, v. 38, n. 6, p. 2948-2955, 2010.

ZHU, Z.; JIA, Z.; PENG, L.; CHEN, Q.; HE, L.; JIANG, Y.; GE, S. Life cycle assessment of conventional and organic apple production systems in China. **Journal Of Cleaner Production**, v. 201, p. 156-168, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.032>.

ZOFFOLI, H. J. O.; AMARAL-SOBRINHO, N. M. Brasil do; ZONTA, E; LUISI, M.V; MARCON, G.; TOLÓN-BECERRA, A. Inputs of heavy metals due to agrochemical use in tobacco fields in Brazil's Southern Region. **Environmental Monitoring And Assessment**, v. 185, n. 3, p. 2423-2437, 2013.

## APÊNDICE A – PROCEDIMENTOS DE CÁLCULO, RENOVABILIDADES PARCIAIS E UEVS UTILIZADAS NA SÍNTESE EM EMERGIA

Tabela A.A – Memorial de cálculos para obter os fluxos de energia, massa ou dinheiro.

(continua)

Nota	Descrição		
1	<b>Sol:</b>		
	Radiação solar=		kWh/m <sup>2</sup> /dia
	Albedo=	20	%
	Cálculo: (kWh/ m <sup>2</sup> /dia)*(365 dias/ano)*(albedo)*(10.000 m <sup>2</sup> /ha)*(3600000 J/kWh)		
	<b>Fluxo de energia=</b>		<b>J/ha/ano</b>
2	<b>Chuva:</b>		
	Pluviosidade=		m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /ano
	125nergía libre de Gibbs=	5000	J/kg
	Densidade da água	1000	kg/m <sup>3</sup>
	Cálculo: (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /ano)*(J/kg)*(kg/m <sup>3</sup> )*(10.000 m <sup>2</sup> /ha)		
	<b>Fluxo de energia=</b>		<b>J/ha/ano</b>
3	<b>Vento:</b>		
	Densidade do ar=		kg/m <sup>3</sup>
	Vel. Media anual=	1,65	m/s
	Coeficiente de arraste=	0,001	adimensional
	Cálculo: (kg/m <sup>3</sup> )*(m/s) <sup>3</sup> *0,001*(10000 m <sup>2</sup> /ha)*(3,15E7 s/ano)		
	<b>Fluxo de energia=</b>		<b>J/ha/ano</b>
4	<b>Perda de solo:</b>		
	Perda de solo=		kg/ano
	Materia Orgânica=	0,035	kg m.o /kg solo
	125nergía da		
	M.O=	5400	kcal/kg m.o
	Cálculo: (kg <sub>solo</sub> /ha/ano)*(kg <sub>m.o</sub> /kg <sub>solo</sub> )*(kcal/kg <sub>m.o</sub> )*(4186 J/kcal)*ha <sub>uso de solo/ha</sub> propriedade		
	<b>Fluxo de 125nergía=</b>		<b>J/ha/ano</b>
5	<b>Combustíveis:</b>		
	Quantidade=		L/ano
	Densidade=	0,85	kg/l
		10.000	Kcal/kg
	Cálculo: (L/ano)*(kg/litro)*(kcal/kg)*(4186 J/kcal)/ha		
	<b>Fluxo de energia=</b>		<b>J/ha/ano</b>
6	<b>Aço:</b> Massa dos equip.:		kg
	Cálculo: (kg) * (1000 g/kg)/(ha)/(vida útil)		
	<b>Fluxo massa=</b>		<b>g/ha/ano</b>

Tabela A.A – Memorial de cálculos para obter os fluxos de energia, massa ou dinheiro.  
(continuação)

7	<b>Sementes:</b>	Quantidade=	Kg/ano	
		Cálculo: (kg)*(1000 g/kg)/ha		
		<b>Fluxo de massa total=</b>		<b>g/ha/ano</b>
8	<b>Adubos:</b>	Quantidade=	kg/ano	
		Cálculo: (kg)*(1000 g/kg)/ha		
		<b>Fluxo de massa total=</b>		<b>g/ha/ano</b>
9	<b>Ração:</b>	Quantidade=	kg/ano	
		Cálculo: (kg)*(1000 g/kg)/ha		
		<b>Fluxo de massa=</b>		<b>g/ha/ano</b>
10	<b>Herbicida:</b>	Quantidade=	L/ano	
		Densidade= 1,7	kg/l	
		Cálculo: (L/ano)*(kg/l) *(1000)/ha		
		<b>Fluxo de 126nergía=</b>		<b>g/ha.ano</b>
11	<b>Insumos en valor monetario:</b>	Quantidade=	R\$/ano	
		Taxa de		
		cambio= 4,15	R\$/US\$	
		Cálculo: (R\$/ano)/(US\$/R\$)/ha		
		<b>Fluxo monetario=</b>		<b>US\$/ha/ano</b>
12	<b>Electricidade:</b>	Quantidade=	kWh/ano	
		Cálculo: (kWh)*(3,6 E06 J/kWh)/ha		
		<b>Fluxo de energía=</b>		<b>J/ha/ ano</b>
13	<b>Concreto:</b>	Construções=	m <sup>2</sup>	
		Massa por m <sup>2</sup> =	kg/m <sup>2</sup>	
		Massa=	kg	
		Cálculo: (kg)*(1000 g/kg)/(30 anos)/ha		
		<b>Fluxo de massa=</b>		<b>g/ha/ano</b>
14	<b>Mão de obra:</b>	Quantidade=	h/ano	
		Energía por homen= 2500	Kcal/día	
		Cálculo: (h/ano)*(dia/8 horas)*(kcal/dia)*(4186 J/kcal)/ha		
		<b>Fluxo de energía=</b>		<b>J/ha/ano</b>

Tabela A.A – Memorial de cálculos para obter os fluxos de energia, massa ou dinheiro.  
(conclusão)

15	<b>Serviços:</b>	
	Custos=	R\$/ano
	Taxa de cambio=	4,15 R\$/US\$
	Cálculo: (R\$/ano)/( R\$/US\$)/ha	
	<b>Fluxo monetario=</b>	<b>US\$/ha/ano</b>
Fonte: Elaborado pelo autor (2022)		

Tabela A.B – Porcentagem de renovabilidades parciais utilizadas para as entradas em propriedades rurais familiares localizadas na região da Serra Catarinense, Santa Catarina, Brasil.

Item	% renovabilidade	Observação
Sol	100	Renovável por definição
Chuva	100	Renovável por definição
Vento	100	Renovável por definição
Água subterrânea	50	Agostinho <i>et al.</i> , 2019
Perda de solo	0	Não renovável por definição
Aço	0	a
Combustíveis fósseis	0	a
Calcáreo	0	a
Fertilizantes minerais	0	a
Pesticidas	0	a
Sementes locais	95	Ortega <i>et al.</i> , 2002
Sementes híbridas	50	Ribeiro de Oliveira, 2018
Sementes transgênicas	0	a
Energia Elétrica	68	Agostinho <i>et al.</i> , 2019
Mudas	70	Feitosa <i>et al.</i> , 2019
Mão de obra familiar	90	Feitosa <i>et al.</i> , 2019
Mão contratada	60	Feitosa <i>et al.</i> , 2019
Adubo orgânico	70	Castellini <i>et al.</i> , 2006

<sup>a</sup>Considerado não renovável, sendo que se precisa muito tempo para sua formação e produção.



**Tabela A.C** – Valores Unitários de Energia (UEV) utilizados na avaliação de propriedades rurais familiares localizadas na região da Serra Catarinense, Santa Catarina, Brasil, atualizadas na “baseline”  $12,1E10^{24}$  (Brown; Ulgiati, 2016) sem mão de obra e serviços.

Item	Unidade	UEV (sej/unidade)	Fonte
Sol	J	1,00E+00	Odum, 1996
Chuva	J	2,31E+04	Odum <i>et al.</i> , 2000
Vento	J	1,86E+03	Odum <i>et al.</i> , 2000
Perda de solo	J	9,42E+04	Odum, 1996
Água para o gado	g	2,41E+04	Jaklič, <i>et al.</i> , 2014
Combustíveis	J	1,38E+05	Brown <i>et al.</i> , 2011
Aço	g	8,59E+09	Brown e Ulgiati, 2004
Sementes locais	g	2,26E+09	Fahd <i>et al.</i> , 2012
Sementes Transgênicas	g	1,28E+10	Ortega <i>et al.</i> , 2002
Adubo orgânico	g	2,25E+09	Castellini <i>et al.</i> , 2006
Nitrogênio	g	4,85E+09	Brown e Ulgiati, 2004
Fósforo	g	4,98E+09	Brown e Ulgiati, 2004
Ureia	g	4,85E+09	Cuadra e Rydberg, 2006
Potássio	g	2,22E+09	Odum, 1996
Herbicida	g	1,89E+10	Brown e Ulgiati, 2004
Homeopatia	ml	2,66E+12	Calculado
Ração	g	1,49E+09	Jaklič, <i>et al.</i> , 2014
Vacinas	US\$	4,26E+12	Giannetti <i>et al.</i> , 2018
Coagulante para queijo	US\$	4,26E+12	Giannetti <i>et al.</i> , 2018
Electricidade	J	1,16E+05	Giannetti <i>et al.</i> , 2015
Concreto	g	1,37E+09	Pulselli <i>et al.</i> , 2008
Mão de obra	J	8,74E+06	Bonilla <i>et al.</i> , 2010
Serviços	US\$	4,26E+12	Giannetti <i>et al.</i> , 2018

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

**APÊNDICE B – TABELAS DE EMERGIA DAS PROPRIEDADES RURAIS FAMILIARES LOCALIZADAS NA REGIÃO DA SERRA CATARINENSE, SANTA CATARINA, BRASIL**

Tabela B.A – Fluxos de entradas e emergia da propriedade Agroecológica

Nº	Item	Unid.	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Emergia (sej/ha)	% Y
<b>R-renováveis (R)</b>					<b>32,24</b>
1	Sol	J	4,09E+13	0,00E+00	0,00
2	Chuva	J	7,50E+10	1,73E+15	32,24
3	Vento	J	7,34E+07	1,37E+11	0,00
<b>Não renováveis (N)</b>					<b>1,36</b>
4	Perda de solo	J	7,74E+08	7,30E+13	1,36
5	Água para o gado	g	6,67E+06	1,61E+11	0,00
<b>Materiais (M)</b>					<b>18,55</b>
6	Combustível	J	1,71E+08	2,35E+13	0,44
7	Aço	g	6,83E+03	5,87E+13	1,09
8	Sementes	g	4,87E+00	1,10E+10	0,00
9	Adubo orgânico	g	3,14E+05	7,07E+14	13,15
10	Nitrogênio	g	3,31E+03	1,61E+13	0,30
11	Fósforo	g	1,24E+04	6,16E+13	1,15
12	Potássio	g	4,49E+03	9,96E+12	0,19
13	Herbicida	g	9,71E+02	1,84E+13	0,34
14	Vacinas	US\$	2,07E+00	8,80E+12	0,16
15	Coagulante para queijo	US\$	1,14E+01	4,84E+13	0,90
16	Electricidade	J	2,14E+08	2,48E+13	0,46
17	Concreto	g	1,50E+04	2,06E+13	0,38
<b>Serviços (S)</b>					<b>47,85</b>
18	Mão de obra Familiar	J	2,33E+08	2,04E+15	37,93
19	Mão de obra Contratada	J	1,50E+06	1,31E+13	0,24
20	Serviços	US\$	1,22E+02	5,20E+14	9,68
<b>Total Emergia (Y)</b>			<b>5,37E+15</b>	<b>5,37E+15</b>	<b>100,00</b>
<b>Total Outputs (Ep)</b>			<b>J</b>	<b>2,80E+10</b>	
<b>Transformidade(Tr)</b>			<b>J</b>	<b>1,92E+05</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela B.B – Fluxos de entradas e emergia da propriedade Convencional

Grão/Bovino

Nº	Item	Unid.	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Emergia (sej/ha)	% Y
<b>R-renováveis (R)</b>					<b>29,18</b>
1	Sol	J	4,09E+13	0,00E+00	0,00
2	Chuva	J	7,50E+10	1,73E+15	29,17
3	Vento	J	7,34E+07	1,37E+11	0,00
<b>Não renováveis (N)</b>					<b>3,26</b>
4	Perda de solo	J	2,05E+09	1,93E+14	3,25
	Água para o gado	g	2,22E+07	5,35E+11	0,01
<b>Materiais (M)</b>					<b>26,00</b>
5	Combustível	J	5,29E+08	7,27E+13	1,22
6	Aço	g	6,21E+03	5,33E+13	0,90
7	Sementes	g	2,08E+04	4,72E+13	0,79
	Semente				
8	transgênicas	g	2,78E+03	3,56E+13	0,60
9	Nitrogênio	g	1,32E+04	6,40E+13	1,08
10	Fósforo	g	6,32E+04	3,15E+14	5,30
11	Potássio	g	3,47E+04	7,70E+13	1,30
12	Ureia	g	1,11E+05	5,36E+14	9,03
13	Herbicida	g	8,57E+03	1,62E+14	2,73
14	Pesticidas	g	2,93E-01	5,54E+09	0,00
15	Vacinas e insumos	US\$	3,12E+01	1,33E+14	2,24
16	Electricidade	J	1,87E+08	2,17E+13	0,37
17	Concreto	g	1,94E+04	2,66E+13	0,45
<b>Serviços (S)</b>					<b>41,56</b>
18	Mão de obra Familiar	J	9,27E+07	8,10E+14	13,65
	Mão de obra				
19	contratada	J	4,07E+06	3,56E+13	0,60
20	Serviços	US\$	3,81E+02	1,62E+15	27,31
<b>Total Emergia (Y)</b>			<b>5,94E+15</b>	<b>5,94E+15</b>	<b>100,00</b>
<b>Total Outputs (Ep)</b>			<b>3,15E+10</b>		
<b>Transformidade(Tr)</b>			<b>1,88E+05</b>		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela B.C – Fluxos de entradas e emergia da propriedade Convencional

Leite/Grãos

Nº	Item	Unid.	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Energia (sej/ha)	% Y
<b>R-renováveis (R)</b>					<b>21,58</b>
1	Sol	J	4,09E+13	0,00E+00	0,00
2	Chuva	J	7,50E+10	1,73E+15	21,57
3	Vento	J	7,34E+07	1,37E+11	0,00
<b>Não renováveis (N)</b>					<b>2,13</b>
4	Perda de solo	J	1,81E+09	1,70E+14	2,12
5	Agua para o gado	g	2,60E+07	6,25E+11	0,01
<b>Materiais (M)</b>					<b>32,68</b>
6	Combustível	J	3,56E+08	4,89E+13	0,61
7	Aço	g	9,47E+03	8,13E+13	1,01
8	Sementes	g	8,89E+03	2,01E+13	0,25
9	Semente transgênicas	g	9,26E+03	1,19E+14	1,48
10	Calcário	g	3,29E+05	2,50E+14	3,12
11	Nitrogênio	g	1,21E+04	5,89E+13	0,73
12	Fósforo	g	5,01E+04	2,49E+14	3,11
13	Potássio	g	3,14E+04	6,97E+13	0,87
14	Ureia	g	7,78E+04	3,77E+14	4,70
15	Herbicida	g	4,34E+03	8,21E+13	1,02
16	Pesticidas	g	2,84E+00	5,36E+10	0,00
17	Vacinas e insumos	US\$	5,35E+00	2,28E+13	0,28
18	Ração	g	8,11E+05	1,21E+15	15,08
19	Electricidade	J	6,16E+07	7,15E+12	0,09
20	Concreto	g	1,94E+04	2,66E+13	0,33
<b>Serviços (S)</b>					<b>43,62</b>
21	Mão de obra Familiar	J	1,18E+08	1,03E+15	12,87
22	Mão de obra contratada	J	3,88E+06	3,39E+13	0,42
23	Serviços	US\$	5,72E+02	2,44E+15	30,33
<b>Total Energia (Y)</b>			<b>seJ</b>	<b>8,03E+15</b>	<b>8,03E+15</b>
<b>Total Outputs (Ep)</b>			<b>J</b>	<b>5,88E+10</b>	
<b>Transformidade(Tr)</b>			<b>J</b>	<b>1,37E+05</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela B.D – Fluxos de entradas e emergia da propriedade Convencional Grãos

Nº	Item	Unid.	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Energia (sej/ha)	% Y
<b>R-renováveis (R)</b>					<b>20,56</b>
1	Sol	J	4,09E+13	0,00E+00	0,00
2	Chuva	J	7,50E+10	1,73E+15	20,56
3	Vento	J	7,34E+07	1,37E+11	0,00
<b>Não renováveis (N)</b>					<b>1,36</b>
4	Perda de solo	J	1,22E+09	1,15E+14	1,36
<b>Materiais (M)</b>					<b>26,61</b>
5	Combustível	J	2,67E+09	3,68E+14	4,37
6	Aço	g	8,41E+03	7,22E+13	0,86
7	Sementes	g	2,95E+01	6,68E+10	0,00
8	Mudas	US\$	1,96E+01	8,36E+13	0,99
9	Nitrogênio	g	2,18E+04	1,06E+14	1,25
10	Fósforo	g	7,11E+04	3,54E+14	4,20
11	Potássio	g	3,79E+04	8,41E+13	1,00
12	Ureia	g	1,84E+05	8,93E+14	10,60
13	Herbicida	g	6,17E+03	1,17E+14	1,38
14	Pesticidas	g	9,47E-02	1,79E+09	0,00
15	Electricidade	J	8,41E+08	9,76E+13	1,16
16	Concreto	g	4,91E+04	6,73E+13	0,80
<b>Serviços (S)</b>					<b>51,47</b>
17	Mão de obra Familiar	J	1,83E+08	1,60E+15	18,97
	Mão de obra				
18	Contratada	J	1,65E+07	1,44E+14	1,71
19	Serviços	US\$	6,09E+02	2,59E+15	30,79
<b>Total Energia (Y)</b>			<b>8,43E+15</b>	<b>8,43E+15</b>	<b>100,00</b>
<b>Total Outputs (Ep)</b>			<b>J</b>	<b>9,15E+10</b>	
<b>Transformidade(Tr)</b>			<b>J</b>	<b>9,21E+04</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela B.E – Fluxos de entradas e emergia da propriedade Convencional  
Diversificada

N°	Item	Unid.	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Emergia (sej/ha)	% Y
<b>R-renováveis (R)</b>					<b>32,06</b>
1	Sol	J	4,09E+13	0,00E+00	0,00
2	Chuva	J	7,50E+10	1,73E+15	32,06
3	Vento	J	7,34E+07	1,37E+11	0,00
<b>Não renováveis (N)</b>					<b>14,85</b>
4	Perda de solo	J	8,51E+09	8,02E+14	14,84
5	Água para o gado	g	2,60E+07	6,25E+11	0,01
<b>Materiais (M)</b>					<b>15,43</b>
6	Combustível	J	4,95E+08	6,81E+13	1,26
7	Aço	g	9,87E+03	8,48E+13	1,57
8	Sementes	g	1,91E+01	4,33E+10	0,00
9	Mudas	US\$	1,05E+01	4,46E+13	0,83
9	Nitrogênio	g	7,34E+03	3,56E+13	0,66
11	Fósforo	g	3,38E+04	1,68E+14	3,11
12	Potássio	g	7,66E+04	1,70E+14	3,15
13	Ureia	g	3,04E+04	1,48E+14	2,73
14	Herbicida	g	2,22E+03	4,19E+13	0,78
15	Pesticidas	g	6,96E-02	1,31E+09	0,00
16	Vacinas e insumos	US\$	3,14E+00	1,34E+13	0,25
17	Electricidade	J	2,43E+08	2,82E+13	0,52
18	Concreto	g	2,28E+04	3,13E+13	0,58
<b>Serviços (S)</b>					<b>37,66</b>
Mão de obra					
19	Familiar	J	1,18E+08	1,03E+15	19,14
20	Serviços	US\$	2,35E+02	1,00E+15	18,52
<b>Total Emergia (Y)</b>			<b>seJ</b>	<b>5,40E+15</b>	<b>5,40E+15</b>
<b>Total Outputs (Ep)</b>			<b>J</b>	<b>1,55E+10</b>	
<b>Transformidade(Tr)</b>			<b>J</b>	<b>3,48E+05</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela B.F – Fluxos de entradas e emergia da propriedade Orgânica

Nota	Item	Unid.	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Emergia (sej/ha)	% Y
<b>R-renováveis (R)</b>					<b>14,65</b>
1	Sol	J	4,09E+13	0,00E+00	0,00
2	Chuva	J	7,50E+10	1,73E+15	14,65
3	Vento	J	7,34E+07	1,37E+11	0,00
<b>Não renováveis (N)</b>					<b>2,73</b>
4	Perda de solo	J	3,43E+09	3,23E+14	2,73
<b>Materiais (M)</b>					<b>17,46</b>
5	Combustível	J	1,01E+09	1,39E+14	1,17
6	Aço	g	1,92E+04	1,65E+14	1,39
7	Sementes	g	1,08E+04	1,39E+13	0,12
8	Mudas	US\$	2,33E+02	9,94E+14	8,40
9	Adubo orgânico	g	3,00E+05	6,75E+14	5,71
10	Electricidade	J	6,91E+08	8,01E+13	0,68
<b>Serviços (S)</b>					<b>65,16</b>
11	Mão de obra familiar	J	7,24E+08	6,33E+15	53,48
12	Mão de obra contratada	J	3,14E+07	2,74E+14	2,32
13	Serviços	US\$	2,60E+02	1,11E+15	9,36
<b>Total Emergia (Y)</b>			<b>1,18E+16</b>	<b>1,18E+16</b>	<b>100,00</b>
<b>Total Outputs (Ep)</b>			<b>2,75E+09</b>		
<b>Transformidade(Tr)</b>			<b>4,30E+06</b>		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

**APÊNDICE C – FATOR DE CARATERIZAÇÃO UTILIZADOS PARA O CÁLCULO DO POTENCIAL DE ECOTOXICIDADE EM PROPRIEDADES RURAIS FAMILIARES LOCALIZADAS NA REGIÃO DA SERRA CATARINENSE, SANTA CATARINA, BRASIL.**

<b>Item</b>	<b>Fator de conversão (kg 1,4-DCB-eq)</b>
Bifentrina	83
Carbendazim	49
Mancozeb	16
Glifosato	0,096
Bentazona	0,59
Iprodiona	0,14
Cadmio	170
Chumbo	33
Cobre	14
Zinco	25

Fonte: Huijbregts *et al.*, 2000



## APÊNDICE D – DADOS PARA SÍNTESE EM EMERGIA CONSIDERANDO A SUBSTITUIÇÃO DE MATERIAIS CONVENCIONAIS POR HOMEOPATIA

Tabela D.A - Memorial de cálculo para a preparação homeopática segundo dados do Laboratório de Homeopatia e Saúde Vegetal da Epagri, Lages.

**1) Matéria prima Mineral (Silicea):** (0,3g/processo). **2) Cerâmica (Laboratório):** (475,00g/processo) / (vida útil=10ano) /365. **3) Lactose:** (1R\$/processo) / (4,15 R\$/US\$). **4) Etanol:** (0,80 litro) \* (5380 kal/l) \* (J/Kcal). **5) Vidriaria (Laboratório):** (850g/processo) / (vida útil=10ano) /365. **6) Equipamento:** (8.000,00 R\$) / (4,15 R\$/US\$) / (vida útil=10ano) /365. **7) Eletricidade:** (2,60E+00 kWh) \* (3600000 J/kWh). **8) Mão de obra qualificada:** (8hr)\*(300 kcal/h) \* (4186 J/kcal). **9) Serviços: Salário** (1,33E+02 R\$/processo) / (4,15 R\$/US\$); **Instalações (Laboratório)** (350000 R\$) / (4,15 R\$/US\$) /30anos/365; **Vidraria** (30R\$/processo) / (US\$) /10anos/365; **Insumos inertes (Etanol e Lactose)** (4 R\$/processo) / (4,15 R\$/US\$).

Tabela D.B – Tabela em energia da propriedade Agroecológica

Nº	Item	Unid.	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Energia (sej/ha)	% Y
<b>R-renováveis (R)</b>					<b>32,84</b>
1	Sol	J	4,09E+13	0,00E+00	0,00
2	Chuva	J	7,50E+10	1,73E+15	32,84
3	Vento	J	7,34E+07	1,37E+11	0,00
<b>Não renováveis (N)</b>					<b>1,39</b>
4	Perda de solo	J	7,74E+08	7,30E+13	1,38
5	Água para o gado	g	6,67E+06	1,61E+11	0,00
<b>Materiais (M)</b>					<b>15,95</b>
6	Combustível	J	1,71E+08	2,35E+13	0,45
7	Aço	g	6,83E+03	5,87E+13	1,11
8	Sementes	g	4,87E+00	1,10E+10	0,00
9	Adubo orgânico	g	2,51E+05	5,65E+14	10,71
10	Nitrogênio	g	2,65E+03	1,29E+13	0,24
11	Fósforo	g	9,90E+03	4,93E+13	0,93
12	Potássio	g	3,59E+03	7,97E+12	0,15
13	Herbicida	g	9,71E+02	1,84E+13	0,35
14	Homeopatia	ml	4,57E+00	1,22E+13	0,23
15	Coagulante para queijo	US\$	1,14E+01	4,84E+13	0,92
16	Electricidade	J	2,14E+08	2,48E+13	0,47
17	Concreto	g	1,50E+04	2,06E+13	0,39
<b>Serviços (S)</b>					<b>49,82</b>
18	Mão de obra Familiar	J	2,42E+08	2,12E+15	40,12
19	Mão de obra Contratada	J	1,50E+06	1,31E+13	0,25
20	Serviços	US\$	1,17E+02	4,99E+14	9,45
<b>Total Energia (Y)</b>			<b>seJ</b>	<b>5,28E+15</b>	<b>100,00</b>
<b>Total Outputs (Ep)</b>			<b>J</b>	<b>2,80E+10</b>	
<b>Transformidade(Tr)</b>			<b>J</b>	<b>1,89E+05</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela D.C – Tabela em energia da propriedade Convencional Grãos+Bovinos

Nº	Item	Unid.	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Energia (sej/ha)	% Y
<b>R-renováveis (R)</b>					<b>32,62</b>
1	Sol	J	4,09E+13	0,00E+00	0,00
2	Chuva	J	7,50E+10	1,73E+15	32,62
3	Vento	J	7,34E+07	1,37E+11	0,00
<b>Não renováveis (N)</b>					<b>3,65</b>
4	Perda de solo	J	2,05E+09	1,93E+14	3,64
5	Água para o gado	g	2,22E+07	5,35E+11	0,01
<b>Materiais (M)</b>					<b>25,57</b>
6	Combustível	J	5,29E+08	7,27E+13	1,37
7	Aço	g	6,21E+03	5,33E+13	1,00
8	Sementes	g	2,08E+04	4,72E+13	0,89
9	Sementes transgênicas	g	2,78E+03	3,56E+13	0,67
10	Nitrogênio	g	1,06E+04	5,12E+13	0,96
11	Fósforo	g	5,06E+04	2,52E+14	4,74
12	Potássio	g	2,77E+04	6,16E+13	1,16
13	Ureia	g	8,84E+04	4,29E+14	8,08
14	Herbicida	g	8,57E+03	1,62E+14	3,05
15	Homeopatia	ml	4,57E+00	1,22E+13	0,23
16	insumos	US\$	3,12E+01	1,33E+14	2,50
17	Electricidade	J	1,87E+08	2,17E+13	0,41
18	Concreto	g	1,94E+04	2,66E+13	0,50
<b>Serviços (S)</b>					<b>38,16</b>
19	Mão de obra Familiar	J	1,00E+08	8,74E+14	16,46
20	Mão de obra contratada	J	4,07E+06	3,56E+13	0,67
21	Serviços	US\$	2,62E+02	1,12E+15	21,04
<b>Total Energia (Y)</b>			<b>seJ</b>	<b>5,31E+15</b>	<b>5,31E+15</b>
<b>Total Outputs (Ep)</b>			<b>J</b>	<b>3,15E+10</b>	
<b>Transformidade(Tr)</b>			<b>J</b>	<b>1,68E+05</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela D.D – Tabela em energia da propriedade Convencional Grãos+Leite

Nº	Item	Unid.	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Energia (sej/ha)	% Y
<b>R-renováveis (R)</b>					<b>23,05</b>
1	Sol	J	4,09E+13	0,00E+00	0,00
2	Chuva	J	7,50E+10	1,73E+15	23,05
3	Vento	J	7,34E+07	1,37E+11	0,00
<b>Não renováveis (N)</b>					<b>2,28</b>
4	Perda de solo	J	1,81E+09	1,70E+14	2,27
5	Água para o gado	g	2,60E+07	6,25E+11	0,01
<b>Materiais (M)</b>					<b>29,05</b>
6	Combustível	J	3,56E+08	4,89E+13	0,65
7	Aço	g	9,47E+03	8,13E+13	1,08
8	Sementes	g	8,89E+03	2,01E+13	0,27
9	Semente transgênicas	g	9,26E+03	1,19E+14	1,58
10	Calcário	g	2,63E+05	2,00E+14	2,66
11	Nitrogênio	g	9,72E+03	4,71E+13	0,63
12	Fósforo	g	4,01E+04	1,99E+14	2,65
13	Potássio	g	2,51E+04	5,58E+13	0,74
14	Ureia	g	6,22E+04	3,02E+14	4,01
15	Herbicida	g	4,34E+03	8,21E+13	1,09
16	Homeopatia	ml	9,63E+00	2,56E+13	0,34
17	Ração	g	6,49E+05	9,69E+14	12,89
18	Electricidade	J	6,16E+07	7,15E+12	0,10
19	Concreto	g	1,94E+04	2,66E+13	0,35
<b>Serviços (S)</b>					<b>45,62</b>
21	Mão de obra Familiar	J	1,24E+08	1,08E+15	14,42
22	Mão de obra Contrat.	J	3,88E+06	3,39E+13	0,45
23	Serviços	US\$	5,43E+02	2,31E+14	30,75
<b>Total Energia (Y)</b>			<b>7,52E+15</b>	<b>7,52E+15</b>	<b>100,00</b>
<b>Total Outputs (Ep)</b>		<b>J</b>	<b>5,88E+10</b>		
<b>Transformidade(Tr)</b>		<b>J</b>	<b>1,28E+05</b>		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela D.E – Tabela em emerggia da propriedade Convencional Grãos

N°	Item	Unid.	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Emergia (sej/ha)	% Y
<b>R-renováveis (R)</b>					<b>22,59</b>
1	Sol	J	4,09E+13	0,00E+00	0,00
2	Chuva	J	7,50E+10	1,73E+15	22,58
3	Vento	J	7,34E+07	1,37E+11	0,00
<b>Não renováveis (N)</b>					<b>1,49</b>
4	Perda de solo	J	1,22E+09	1,15E+14	1,49
<b>Materiais (M)</b>					<b>25,85</b>
5	Combustível	J	2,67E+09	3,68E+14	4,80
6	Aço	g	8,41E+03	7,22E+13	0,94
7	Sementes	g	2,95E+01	6,68E+10	0,00
8	Mudas	US\$	1,96E+01	8,36E+13	1,09
9	Nitrogênio	g	1,74E+04	8,45E+13	1,10
10	Fósforo	g	5,68E+04	2,83E+14	3,69
11	Potássio	g	3,03E+04	6,73E+13	0,88
12	Ureia	g	1,47E+05	7,15E+14	9,32
13	Herbicida	g	6,17E+03	1,17E+14	1,52
14	Homeopatia	ml	1,05E+01	2,80E+13	0,37
15	Electricidade	J	8,41E+08	9,76E+13	1,27
16	Concreto	g	4,91E+04	6,73E+13	0,88
<b>Serviços (S)</b>					<b>50,07</b>
17	Mão de obra Familiar	J	2,10E+08	1,84E+15	23,97
18	Mão de obra Contratada	J	1,65E+07	1,44E+14	1,88
19	Serviços	US\$	4,36E+02	1,86E+15	24,22
<b>Total Emergia (Y)</b>			<b>seJ</b>	<b>7,67E+15</b>	<b>7,67E+15</b>
<b>Total Outputs (Ep)</b>			<b>J</b>	<b>9,15E+10</b>	
<b>Transformidade(Tr)</b>			<b>J</b>	<b>8,38E+04</b>	

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela D.F – Tabela em energia da propriedade Convencional Diversificada

Nº	Item	Unid.	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Energia (sej/ha)	% Y
<b>R-renováveis (R)</b>					<b>34,18</b>
1	Sol	J	4,09E+13	0,00E+00	0,00
2	Chuva	J	7,50E+10	1,73E+15	34,18
3	Vento	J	7,34E+07	1,37E+11	0,00
<b>Não renováveis (N)</b>					<b>15,83</b>
4	Perda de solo	J	8,51E+09	8,02E+14	15,82
	Água para o gado	g	2,60E+07	6,25E+11	0,01
<b>Materiais (M)</b>					<b>14,49</b>
5	Combustível	J	4,95E+08	6,81E+13	1,34
6	Aço	g	9,87E+03	8,48E+13	1,67
7	Sementes	g	1,91E+01	4,33E+10	0,00
8	Mudas	US\$	1,05E+01	4,46E+13	0,88
9	Nitrogênio	g	5,87E+03	2,85E+13	0,56
10	Fósforo	g	2,70E+04	1,34E+14	2,65
11	Potássio	g	6,13E+04	1,36E+14	2,68
12	Ureia	g	2,43E+04	1,18E+14	2,33
13	Herbicida	g	2,22E+03	4,19E+13	0,83
14	Homeopatia	ml	6,96E+00	1,85E+13	0,37
15	Electricidade	J	2,43E+08	2,82E+13	0,56
16	Concreto	g	2,28E+04	3,13E+13	0,62
<b>Serviços (S)</b>					<b>35,50</b>
	Mão de obra				
17	Familiar	J	1,30E+08	1,13E+15	22,36
18	Serviços	US\$	1,56E+02	6,66E+14	13,15
<b>Total Energia (Y)</b>			<b>5,07E+15</b>	<b>5,07E+15</b>	<b>100,00</b>
<b>Total Outputs (Ep)</b>		<b>J</b>	<b>1,55E+10</b>		
<b>Transformidade(Tr)</b>		<b>J</b>	<b>3,27E+05</b>		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Tabela D.G – Tabela em energia da propriedade Orgânica

N°	Item	Unid.	Fluxo de entrada (Unid/ha)	Energia (sej/ha)	% Y
<b>R-renováveis (R)</b>					<b>14,37</b>
1	Sol	J	4,09E+13	0,00E+00	0,00
2	Chuva	J	7,50E+10	1,73E+15	14,37
3	Vento	J	7,34E+07	1,37E+11	0,00
<b>Não renováveis (N)</b>					<b>2,68</b>
4	Perda de solo	J	3,43E+09	3,23E+14	2,68
<b>Materiais (M)</b>					<b>16,38</b>
5	Combustível	J	1,01E+09	1,39E+14	1,15
6	Aço	g	1,92E+04	1,65E+14	1,37
7	Sementes	g	1,08E+04	1,39E+13	0,12
8	Mudas	US\$	2,33E+02	9,94E+14	8,24
9	Adubo orgânico	g	2,40E+05	5,40E+14	4,48
	Homeopatia	ml	1,67E+01	4,44E+13	0,37
10	Electricidade	J	6,91E+08	8,01E+13	0,66
<b>Serviços (S)</b>					<b>66,56</b>
11	Mão de obra familiar	J	7,67E+08	6,71E+15	55,63
	Mão de obra contratada	J	3,14E+07	2,74E+14	2,28
13	Serviços	US\$	2,45E+02	1,04E+15	8,65
<b>Total Energia (Y)</b>			<b>1,21E+16</b>	<b>1,21E+16</b>	<b>100,00</b>
<b>Total Outputs (Ep)</b>			<b>2,75E+09</b>		
<b>Transformidade(Tr)</b>			<b>4,38E+06</b>		

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

**APÊNDICE E – VALORES DE INTENSIDADE ENERGÉTICA E TABELA DE ENERGIA INCORPORADA DAS PROPRIEDADES RURAIS FAMILIARES LOCALIZADAS NA REGIÃO DA SERRA CATARINENSE, SANTA CATARINA, BRASIL**

Tabela E.A – Valores dos coeficientes de intensidade de energia incorporada utilizados na avaliação de propriedades rurais familiares da Serra Catarinense

Item	Unid	*Intensidade energética (MJeq/unidade)
Combustível	kg	57,46
Aço	kg	22,61
Sementes	kg	6,387
Calcário	kg	0,159
Nitrogênio	kg	73,38
Fósforo	kg	27,99
Potássio	kg	7,325
Ureia	kg	59,56
Adubo orgânico	Kg	20
Adubo orgânico	Kg	0,30
Herbicida e Pesticidas	kg	91
Ração	kg	6,38
Electricidade	kWh	0,052
Concreto	kg	0,914

Segundo dados da Ecoinvent; Liu; Tsai, 2016, Veiga, *et al.*, 2015.

Tabela E.B – Energia incorporada nas propriedades rurais familiares localizadas na região da Serra Catarinense, Santa Catarina, Brasil.

(continua)

Insumo	Agroecolo- gica		C. Grão/ Bovino		C. Leite/ Grãos		C. Grãos		C. Diversificada Orgânica			
	MJ/kg	%	MJ/kg	%	MJ/kg	%	MJ/kg	%	MJ/kg	%	MJ/kg	%
Combustível	0,101	16,9	0,358	6,5	0,087	3,5	0,634	19,0	0,481	16,4	0,971	85,1
Aço	0,078	13,1	0,069	1,2	0,038	1,5	0,033	0,9	0,158	5,3	0,051	4,4
Sementes	0,000	0,0	0,074	1,3	0,021	0,8	0,000	0,0	0,000	0,0	0,049	4,3
Calcário	0,000	0,0	0,000	0,0	0,009	0,3	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0
Nitrogênio	0,123	20,6	0,477	8,7	0,159	6,5	0,276	8,2	0,381	12,9	0,000	0,0
Fósforo	0,175	29,4	0,873	16,0	0,250	10,2	0,343	10,2	0,668	22,7	0,000	0,0
Potássio	0,017	2,7	0,125	2,2	0,041	1,6	0,048	1,4	0,397	13,5	0,000	0,0
Ureia	0,000	0,0	3,076	56,4	0,825	33,9	1,893	56,7	0,687	23,4	0,000	0,0
Adubo Orgânico	0,048	7,5	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,063	5,5



Tabela E.B – Energia incorporada nas propriedades rurais familiares localizadas na região da Serra Catarinense, Santa Catarina, Brasil.

(conclusão)												
Herbicida	0,045	8,1	0,385	7,0	0,070	2,9	0,097	2,9	0,143	4,8	0,000	0,0
Ração	0,000	0,0	0,000	0,0	0,922	37,9	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0
Eletricidade	0,002	0,2	0,001	0,0	0,004	0,1	0,002	0,0	0,002	0,0	0,007	0,6
Concreto	0,007	1,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,5	0,0	0,0
Total	0,594	100	5,448	100	2,429	100	3,334	100	2,931	100	1,140	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)