



Índice de Sustentabilidade Auera como modelo de avaliação de sustentabilidade em propriedades agrícolas familiares

Auera Sustainability Index as a sustainability assessment model on family farms

Índice de Sostenibilidad Auera como modelo de evaluación de la sostenibilidad en propiedades familiares

DOI: 10.55905/rdelosv17.n58-001

Originals received: 06/17/2024

Acceptance for publication: 07/15/2024

Ivan dos Santos Pereira

Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: ivanspereira@gmail.com

Clenio Nailto Pillon

Doutor em Ciência do Solo

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: clenio.pillon@embrapa.br

Rosane Martinazzo

Doutora em Ciência do Solo

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: rosane.martinazzo@embrapa.br

Mariana Rockenbach de Ávila

Doutora em Zootecnia

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Endereço: Dom Pedrito – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: mariana.avila@colaborador.embrapa.br

Adilson Luis Bamberg

Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: adilson.bamberg@embrapa.br



Carlos Augusto Posser Silveira

Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: augusto.posser@embrapa.br

Henrique Noguez da Cunha

Doutor em Geografia

Instituição: Universidade Federal de Santa Maria

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: henrique.noguez@ufpel.edu.br

Gustavo Crizel Gomes

Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: crizelgomes@gmail.com

Viviane Spiering

Mestre em Geografia

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: spieringv9@gmail.com

Adalberto Koiti Miura

Doutor em Sensoriamento Remoto

Instituição: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: adalberto.miura@embrapa.br

Lilian Terezinha Winckler

Doutora em Ecologia

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: lilian.winckler@embrapa.br

Eberson Diedrich Eicholz

Doutor em Sistemas de Produção Agrícola Familiar

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: eberson.eicholz@embrapa.br

Gustavo Schiedeck

Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: gustavo.schiedeck@embrapa.br



Nelson Pires Feldberg

Mestre em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Lavras

Endereço: Canoinhas – Santa Catarina, Brasil

E-mail: nelson.feldberg@embrapa.br

Sérgio Elmar Bender

Graduado em Engenharia Agrícola

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: sergio.bender@embrapa.br

José Ernani Schwengber

Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Pelotas

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: jose.ernani@embrapa.br

Ricardo Alexandre Valgas

Mestre em Métodos Numéricos em Engenharia

Instituição: Universidade Federal do Paraná

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: ricardo.valgas@embrapa.br

Ernestino de Souza Gomes Guarino

Doutor em Botânica

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: ernestino.guarino@embrapa.br

Irajá Ferreira Antunes

Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade de São Paulo

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: iraja.antunes@embrapa.br

Rosa Lia Barbieri

Doutora em Genética e Biologia Molecular

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: lia.barbieri@embrapa.br

Alexandre Hoffmann

Doutor em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Lavras

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: alexandre.hoffmann@embrapa.br



Carlos Reisser Júnior

Doutor em Fitotecnia

Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Endereço: Pelotas – Rio Grande do Sul, Brasil

E-mail: carlos.reisser@embrapa.br

RESUMO

A agricultura familiar é responsável por grande parcela da produção de alimentos e prestação de serviços ambientais em nível mundial, sendo fundamental a manutenção da sua sustentabilidade. O objetivo do trabalho foi desenvolver um índice para avaliação da sustentabilidade em propriedades agrícolas familiares que considerasse com maior robustez a capacidade produtiva dessas propriedades, o Índice de Sustentabilidade Auera (ISA). Além de realizar um diagnóstico da sustentabilidade nas propriedades agrícolas familiares na região Sul do Brasil. O trabalho foi realizado em propriedades agrícolas familiares dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Inicialmente foi analisado um banco de dados de 5.283 propriedades (pré-diagnóstico); em seguida foi desenvolvido e aplicado um questionário estruturado em 101 propriedades (diagnóstico) e por fim, foi realizado o levantamento detalhado de 182 indicadores em 11 propriedades. Foram avaliados indicadores das dimensões Social, Ambiental e Produtiva. Os resultados indicam que de forma geral, as propriedades apresentaram nível de sustentabilidade suficiente para a maioria dos indicadores. Contudo, existem oportunidades de melhoria em indicadores relacionados ao manejo de resíduos orgânicos e à qualidade da água; à conformidade ambiental e à capacidade de uso da terra; à conservação de áreas nativas; ao manejo e à conservação do solo e da água; ao manejo da acidez do solo; e à conservação e uso da agrobiodiversidade. Pode-se concluir que as propriedades ainda possuem um nível de sustentabilidade aceitável. Contudo, o ISA abaixo do limiar de sustentabilidade em alguns indicadores-chave, indicam uma tendência negativa para o futuro.

Palavras-chave: agricultura sustentável, indicadores de sustentabilidade, agricultura familiar, desenvolvimento sustentável, limiar de sustentabilidade.

ABSTRACT

Family farms are responsible for a large portion of food production and the provision of environmental services worldwide, and maintaining their sustainability is essential. The objective of the work was to develop an index for assessing sustainability in family farms that considers aspects related to the productive capacity of these properties with greater robustness, the Auera Sustainability Index (ASI). In addition to carrying out a sustainability diagnosis on family farms in the southern region of Brazil. The objective of the work was to develop an index for assessing sustainability in family farms that considers aspects related to the productive capacity of these properties with greater robustness, the Auera Sustainability Index (ISA), in addition to carrying out a sustainability diagnosis on family farms in the southern region of Brazil. The results indicate that the properties presented a sufficient sustainability level for most indicators. However, there are opportunities for improvement in indicators related to organic waste management and water quality; environmental compliance and land use capacity; the conservation of native areas; soil and water management and conservation; the management of soil acidity; and the conservation and use of agrobiodiversity. It can be concluded that the properties still have an acceptable level of sustainability. Still, the ISA below the sustainability limits in some key indicators indicates a negative trend for the future.



Keywords: sustainable agriculture, sustainability indicators, family farming, sustainable development, sustainability threshold.

RESUMEN

La agricultura familiar es responsable de una gran parte de la producción de alimentos y prestación de servicios ambientales en todo el mundo, y mantener su sostenibilidad es esencial. El objetivo del trabajo fue desarrollar un índice para evaluar la sostenibilidad en propiedades agrícolas familiares que considerara con mayor robustez la capacidad productiva de estas propiedades, el Índice de Sostenibilidad Auera (ISA). Además de realizar un diagnóstico de sostenibilidad en propiedades familiares de la región sur de Brasil. El trabajo se realizó en propiedades de los estados de Rio Grande do Sul, Santa Catarina y Paraná. Inicialmente se analizó una base de datos de 5.283 propiedades (prediagnóstico); luego se desarrolló un cuestionario estructurado y se aplicó a 101 propiedades (diagnóstico) y finalmente se realizó un levantamiento de 182 indicadores en 11 propiedades. Se evaluaron indicadores de las dimensiones Social, Ambiental y Productiva. Los resultados indican que las propiedades presentaron un nivel suficiente de sostenibilidad para la mayoría de los indicadores. Sin embargo, existen oportunidades de mejora en indicadores relacionados con la gestión de residuos orgánicos y calidad del agua; cumplimiento ambiental y capacidad de uso de la tierra; la conservación de áreas nativas; gestión y conservación de suelos y aguas; el manejo de la acidez del suelo; y la conservación y uso de la agrobiodiversidad. Se puede concluir que las propiedades aún tienen un nivel aceptable de sustentabilidad. Sin embargo, el hecho de que ISA esté por debajo del umbral de sostenibilidad en algunos indicadores clave indica una tendencia negativa para el futuro.

Palabras clave: agricultura sostenible, indicadores de sostenibilidad, agricultura familiar, desarrollo sostenible, umbral de sostenibilidad.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável na agricultura e nas áreas rurais tem recebido atenção crescente, especialmente em função das propriedades agrícolas familiares, que possuem importância incontestável na produção de alimentos e na conservação do meio ambiente.

Segundo Lowder *et al.* (2021), mais de 90% das propriedades agrícolas do mundo (mais de 550 milhões) podem ser consideradas propriedades agrícolas familiares, pois são administradas por um indivíduo ou uma família e dependem principalmente da mão de obra familiar. As estimativas sugerem que essas propriedades ocupam cerca de 70-80% das terras agrícolas e produzem aproximadamente 80% dos alimentos do mundo em termos de valor. Além disso, desempenham funções ambientais importantes nas áreas rurais (Smędzik-Ambroży *et al.* 2022), tais como a conservação da flora e da fauna nativas, da água e do solo.

Contudo as alterações climáticas ameaçam os recursos naturais, acelerando a degradação



dos ecossistemas e tornando a agricultura mais arriscada. Como resultado, os agricultores familiares, que são tão críticos para a segurança alimentar global, estão enfrentando condições climáticas mais extremas, sendo afetados mais imediatamente por secas, inundações e tempestades, ao mesmo tempo que sofrem os efeitos graduais das alterações climáticas, como o stress hídrico nas culturas e na pecuária, a erosão e as infestações de pragas (IFAD, 2014).

Desta forma, a avaliação da sustentabilidade nesse tipo de propriedade é fundamental tanto para a tomada de decisão pelos agricultores quanto para a elaboração de políticas públicas promotoras do desenvolvimento sustentável da agricultura familiar (García *et al.*, 2023).

O conceito de sustentabilidade direcionado ao meio rural está relacionado à qualidade da produção, à manutenção e a melhoria da produtividade, à preservação dos recursos naturais para as futuras gerações, ao manejo e à conservação do solo, da água e da biodiversidade, além da qualidade de vida dos agricultores e de suas famílias (Masera *et al.*, 1999; Deggorone; Costa, 2018). A partir desse conceito, muitas metodologias de avaliação da sustentabilidade em propriedades rurais foram desenvolvidas (Rodrigues *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2020; Geng *et al.*, 2021; Zang *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023; García *et al.*, 2023). Em geral, a sustentabilidade é avaliada por três dimensões: Social, Econômica e Ambiental. Contudo, a produção dos sistemas agrícolas não é suficientemente considerada (Hu *et al.*, 2022).

Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo propor o Índice de Sustentabilidade Auera (ISA), um modelo para a avaliação da sustentabilidade em propriedades agrícolas familiares que contempla as dimensões Social, Ambiental e Produtiva. Essa nova proposta tem como objetivo avaliar, com uma maior densidade de indicadores, a sustentabilidade dos sistemas produtivos, que são responsáveis pela performance socioeconômica da propriedade e impactam diretamente na conservação dos recursos naturais locais e regionais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do ISA foi uma iniciativa da Embrapa Clima Temperado, em parceria com a Philip Morris Brasil, através do “Projeto Auera” (“Auera” significa árvore em um dos dialetos tupi-guarani). A pesquisa foi previamente submetida à avaliação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Plataforma Brasil, tendo sido aprovada e cujo resultado está protocolado no Certificado de Apresentação de Apreciação Ética (CAAE) Nº 50992621.9.0000.5337.

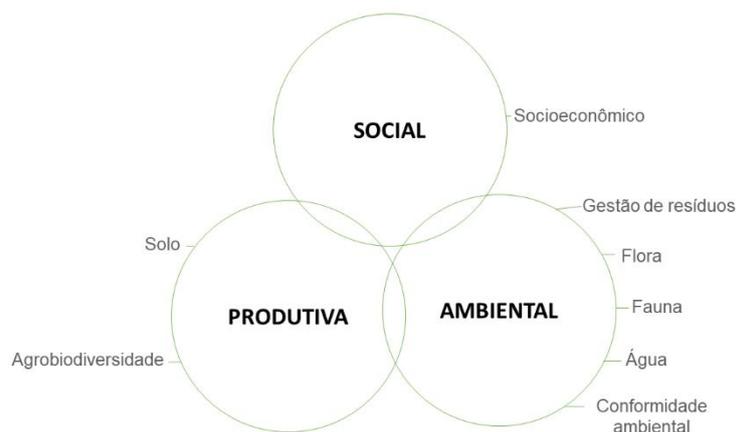


2.1 DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE EM UMA PROPRIEDADE AGRÍCOLA FAMILIAR

De forma geral, a literatura acerca da avaliação da sustentabilidade aponta para a necessidade de uma abordagem holística, com indicadores que contemplem aspectos econômicos, sociais e ambientais (Giannetti et al., 2019; García *et al.*, 2023). Porém, deve-se levar em conta que, em função da sua complexidade, a propriedade agrícola pode exigir uma definição operacional voltada às suas principais características (Chand *et al.*, 2015). Desta forma, o ISA considera as dimensões Social, Ambiental e Produtiva (Figura 1).

Contudo, as dimensões de sustentabilidade do ISA são formadas por eixos, configuração que tem como objetivo gerar informações dos vários segmentos da propriedade, facilitando a tomada de decisão por parte de agricultores e/ou técnicos. Os eixos que compõe o ISA são: Socioeconômico, representando a dimensão Social; Água, Gestão de Resíduos, Conformidade Ambiental, Fauna e Flora, representando a dimensão Ambiental; Solo e Agrobiodiversidade, representando a dimensão Produtiva (Figura 1).

Figura 1. Dimensões de sustentabilidade (Social, Ambiental e Produtiva) e seus respectivos eixos formadores no Índice de Sustentabilidade Auera (ISA).



Fonte: Elaborada pelos Autores.

A dimensão Social é representada pelo Eixo Socioeconômico, que avalia as características da família e da propriedade, como a composição (gênero, idade, escolaridade); o nível de domínio da família sobre a propriedade (proprietário ou arrendatário), a utilização de mão-de-obra (contratada ou familiar); a participação social e a qualidade de vida da família; a



segurança alimentar da família; o acesso à assistência técnica, a serviços, a bens de consumo, a lazer, à educação e à saúde; a autossuficiência da família na produção e no uso eficiente das fontes de energia e da autonomia na produção de lenha.

Na dimensão Ambiental, os eixos buscam avaliar aspectos de conservação e uso dos recursos naturais e a conformidade da propriedade em relação à legislação ambiental vigente. O Eixo Água examina a presença e o nível de conservação dos corpos d'água presentes na propriedade; a qualidade da água; a gestão e uso adequado da água para o consumo e para as atividades agropecuárias. Para o Eixo Gestão de Resíduos, são analisadas a existência e a gestão dos efluentes; os dejetos e resíduos gerados na propriedade; assim como, o aproveitamento de resíduos nas atividades agropecuárias. Com relação ao Eixo Flora, se analisa a ocorrência, o manejo, o uso e a conservação da vegetação campestre e das áreas de floresta nativa; a presença de espécies-chave ameaçadas de extinção e a presença de espécies exóticas invasoras. Já o Eixo Fauna, estuda a presença e a conservação da fauna nativa (aves e mamíferos de médio e grande porte); a presença de espécies exóticas invasoras nas propriedades e a ocorrência de conflitos entre espécies animais silvestres e as atividades agrícolas. No âmbito do Eixo Conformidade Ambiental, é determina a conformidade da propriedade em relação às exigências da legislação ambiental; a existência de passivos ambientais; o uso da terra em relação à sua capacidade de uso; e a conectividade entre fragmentos florestais para avaliação da condição de corredores ecológicos.

Para a dimensão Produtiva, foram utilizados eixos que avaliam o potencial produtivo e a sustentabilidade dos sistemas de produção da propriedade. O Eixo Solo avalia a qualidade química, física e biológica do solo; o manejo adotado pelo agricultor; a adoção de práticas conservacionistas; os sistemas de preparo do solo e a utilização de bioinsumos. Com a finalidade de aumentar a representatividade da avaliação da qualidade do solo nos sistemas de produção das propriedades que praticam agricultura familiar, caracterizadas pela grande diversificação, os indicadores são avaliados nas duas principais áreas de produção da propriedade: área principal utilizada com o sistema de produção mais importante economicamente e área secundária utilizada com o segundo sistema de produção mais importante economicamente ou para o autoconsumo da família. Já o Eixo Agrobiodiversidade estuda a produção e a diversidade da produção vegetal e animal da propriedade; a utilização de plantas condimentares e medicinais; a



produção para autoconsumo, a suficiência e a riqueza na alimentação; e a conservação e o uso da agrobiodiversidade.

2.2 ETAPAS DO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DO ISA

Cronologicamente, o processo de desenvolvimento do ISA foi conduzido em três etapas:

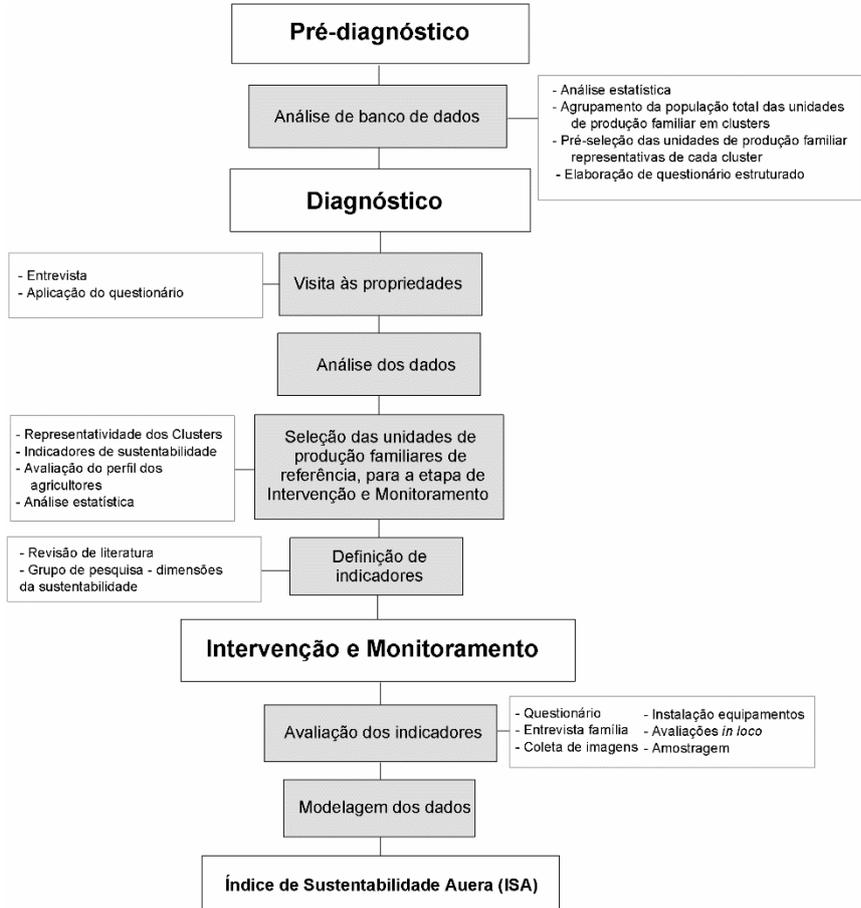
i) Pré-diagnóstico, ii) Diagnóstico e iii) Intervenção e Monitoramento (Figura 2).

2.2.1 Pré-diagnóstico

Consistiu a avaliação das informações de 5.283 propriedades na Região Sul do Brasil, a partir de um banco de dados existente, contendo informações como área da propriedade, sistema de preparo do solo, diversificação do sistema produtivo e domínio da propriedade (Figura 2; 3). Nessa fase, foi desenvolvido um questionário estruturado, com a finalidade de coletar informações sobre as dimensões de sustentabilidade e seus eixos. Por fim, do total de famílias, foram selecionadas 101 para a etapa de Diagnóstico, conforme metodologia previamente estabelecida por Miura *et al.* (2022).



Figura 2. Etapas do processo de desenvolvimento do Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) no âmbito do Projeto Auera.



Fonte: Elaborada pelos Autores.

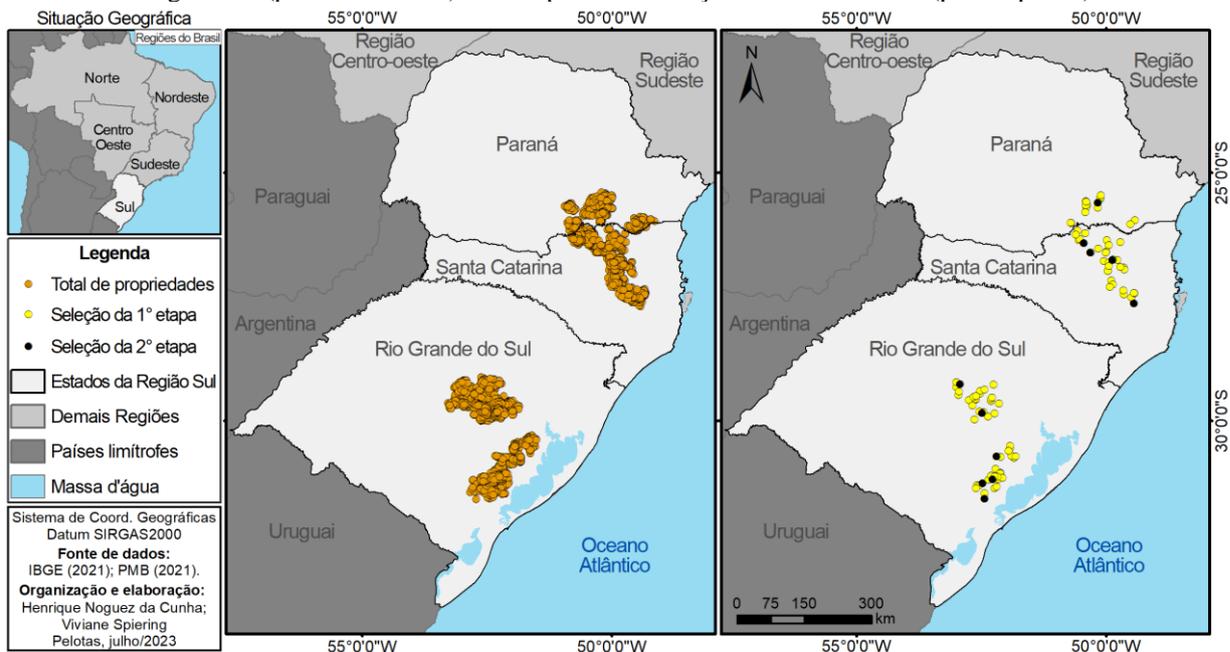
2.2.2 Diagnóstico

Foram realizadas visitas às 101 propriedades selecionadas e, a partir do questionário elaborado, foram coletadas informações acerca das dimensões de sustentabilidade e seus eixos. A partir dessas informações, foram selecionados indicadores que, por sua vez, subsidiaram a seleção de 11 propriedades, as quais foram avaliadas na etapa de Intervenção e Monitoramento, conforme metodologia descrita por Pereira *et al.* (2023) e da disponibilidade de recursos financeiros (Figura 2; 3).

2.2.3 Intervenção e Monitoramento

Foram estabelecidos conjuntos de indicadores capazes de avaliar o nível de sustentabilidade de cada uma das dimensões de sustentabilidade. A definição desses indicadores foi realizada através de revisões bibliográficas e reuniões entre os pesquisadores especialistas nas áreas de abrangência de cada dimensão. O ISA foi composto por 182 indicadores, organizados em subíndices, eixos e dimensões. Os subíndices foram utilizados quando da necessidade de agrupamento de um conjunto de indicadores.

Figura 3. Conjunto total de propriedades avaliadas (pontos laranja), propriedades selecionadas para a etapa de diagnóstico (pontos amarelos) e na etapa de intervenção e monitoramento (pontos pretos).



Fonte: Elaborada pelos Autores.

A) Processo de avaliação dos indicadores

Os indicadores foram avaliados nas 11 propriedades selecionadas, a partir da visita de uma equipe de pesquisadores especialistas em áreas correlatas aos eixos e dimensões de sustentabilidade previstos no ISA. O processo de avaliação das propriedades foi dividido nos seguintes momentos: a) Apresentação da equipe técnica, da família e do objetivo do estudo; b) Caminhamento da equipe técnica pela propriedade, guiada pelo agricultor. Nesse momento os especialistas de cada dimensão puderam fazer questionamentos e discutir questões com o agricultor em cada ponto de interesse da propriedade. Ao mesmo tempo, o agricultor pôde



esclarecer dúvidas técnicas; c) Definição do plano de ação para a avaliação dos indicadores de cada dimensão; d) Execução do plano de ação, com a realização de: i) entrevistas com a família, ponderadas por meio de questionários previamente elaborados que contou com a concordância da família mediante termo de consentimento sobre as informações e imagens capturadas na propriedades; ii) coleta de amostras de solo das duas principais áreas de produção (Área principal e Área secundária); iii) coleta de amostras da água de consumo, água para dessedentação animal, e água de outros corpos d'água importantes para a família e a propriedade; iv) coleta de imagens da propriedade com o uso de drone; v) identificação e coleta de imagens da fauna e da flora presentes na propriedade; vi) instalação de equipamentos de monitoramento (câmera trap); e vii) medidas diretas de indicadores (exemplos: resistência do solo à penetração, presença e tipo de erosão, diversidade de espécies da produção animal, diversidade de espécies alimentícias, etc...); e) Análises laboratoriais; f) Processamento e interpretação dos dados.

A partir dos resultados obtidos pela avaliação dos indicadores, o grau de sustentabilidade de cada propriedade foi estimado com base no ISA, que utiliza um sistema de notas adaptado do método MESMIS - Marco para Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad (Maserá *et al.*, 1999; Verona, 2008).

O resultado obtido para cada indicador foi convertido em classes (Tabela 1). O número de classes depende do indicador, podendo haver indicadores com duas, três, quatro ou cinco classes. Desta forma, é importante que o pesquisador avalie em quantas classes cada indicador pode ser melhor categorizado.

Tabela 1. Interpretação das notas atribuídas aos indicadores, em função do número de classes de cada indicador.

Interpretação das classes	Nota do indicador em função do número de classes			
	Duas	Três	Quatro	Cinco
 Pésima			25	20
Ruim	50	33		40
Regular		67	50	60
Boa			75	80
Excelente	100	100	100	100

Fonte: Elaborada pelos Autores.

Condição Pésima: teor muito baixo de um elemento benéfico; teor excessivo de um elemento prejudicial; legislação não cumprida; etc...

Condição Ruim: teor baixo de um elemento benéfico; teor alto de um elemento prejudicial; baixa qualidade de um atributo; legislação não cumprida; etc...

Condição Regular: teor médio de um elemento benéfico; qualidade mediana de um atributo; legislação atendida parcialmente; etc...



Condição Boa: teor alto de um elemento benéfico; teor baixo de um elemento prejudicial; alta qualidade de um atributo; diversidade elevada; legislação cumprida adequadamente.

Condição Excelente: teor muito alto de um elemento benéfico; teor muito baixo ou ausente de um elemento prejudicial; legislação cumprida além da expectativa; qualidade muito alta de um atributo; diversidade muito elevada; etc...

Em geral, indicadores que podem ser categorizados em um maior número de classes, possuem maior capacidade de distinguir diferentes níveis de sustentabilidade. Um exemplo de indicadores que podem ser facilmente categorizados em cinco classes, são os teores de nutrientes do solo, que na maior parte do mundo, são categorizados em muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto.

O ISA foi desenvolvido para ser um modelo flexível de avaliação da sustentabilidade, podendo ser adaptado para outros indicadores, inclusive indicadores com número de classes diferente, por exemplo, dez classes (um, dois, três..., dez). Entretanto, recomenda-se manter a proporção entre as classes, ou seja, que os intervalos sejam equidistantes.

Para a obtenção do ISA de cada subíndice, é calculada a média aritmética das notas de todos os indicadores que o compõem. Por sua vez, o ISA do Eixo é calculado pela média aritmética dos ISAs dos subíndices. Em seguida, o ISA da Dimensão é calculado pela média aritmética dos ISAs dos Eixos que compõe cada Dimensão. Por fim, o ISA da propriedade é calculado pela média aritmética dos ISAs das Dimensões. Os indicadores do ISA possuem o mesmo peso e a opção de utilizar-se uma escala em porcentagem tem como objetivo principal, facilitar o entendimento dos agricultores e técnicos. Dessa forma, mesmo aqueles com baixa escolaridade podem compreender o nível de sustentabilidade em que que a sua propriedade foi avaliada.

O limiar de sustentabilidade, ou seja, o grau de sustentabilidade que estabelece se uma propriedade é sustentável ou não, foi adaptado de Rodrigues *et al.* (2010) e avaliado como adequado durante o estudo. Desta forma, a propriedade é considerada sustentável quando atinge valores a partir de 70%.



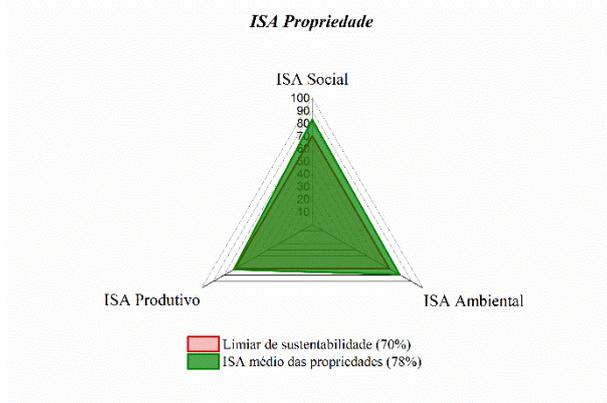
2.3 AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE EM PROPRIEDADES AGRÍCOLAS FAMILIARES DO SUL DO BRASIL

O ISA foi avaliado nas propriedades que participaram da etapa de Intervenção e Monitoramento, distribuídas nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná. Desta forma, os resultados apresentados a seguir configuram uma estimativa da sustentabilidade das propriedades agrícolas familiares da região Sul do Brasil. A avaliação individualizada das propriedades, bem como a descrição das classes de cada indicador, são apresentados no Material suplementar deste artigo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As propriedades avaliadas neste estudo apresentaram um ISA médio de 78%. Além disso, as três dimensões, Social, Ambiental e Produtiva, atingiram o limiar de sustentabilidade (70%), ou seja, em média as propriedades agrícolas familiares do Sul do Brasil podem ser consideradas sustentáveis (Figura 4). Contudo, o modelo serve de ferramenta de gestão, sendo necessário avaliar os eixos que compõe cada dimensão com a finalidade de identificar setores com oportunidade de melhoria, visando ampliar o nível de sustentabilidade dessas propriedades.

Figura 4. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio das propriedades avaliadas.



Fonte: Elaborada pelos Autores.

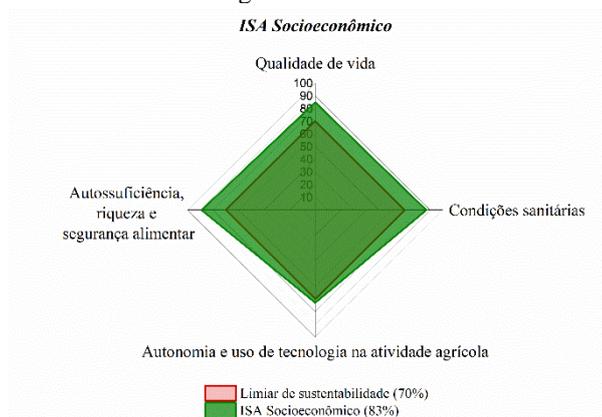


3.1 ISA SOCIAL

A) ISA Socioeconômico

A dimensão Social, representada pelo eixo Socioeconômico, apresentou ISA médio de 83% (Figura 5), sendo superior ao limiar de sustentabilidade (70%) e, por tanto, indicando que as propriedades são sustentáveis. Contudo, alguns indicadores apresentaram resultados abaixo do desejado e podem ser incrementados. Por exemplo, no subíndice “Qualidade de vida”, o resultado médio está adequado, porém, existem carências quanto à educação e à saúde (Figura 6), mais especificamente à ausência de escolas de ensino médio ou superior na comunidade e disponibilidade de apenas uma Unidade Básica de Saúde (UBS), com notável dificuldade de acesso a formas de atendimentos mais complexas, como especialidades médicas e urgência. Essa condição independe da atuação da família, mas retrata a dificuldade de acesso aos níveis mais elevados de educação e saúde. Ainda com relação à qualidade de vida da família, destaca-se os resultados positivos relacionados à qualidade de habitação; do acesso à energia elétrica; à capacidade de aquisição de bens duráveis; e a independência da família aos auxílios governamentais. Os resultados positivos desses indicadores são referendados pela própria opinião das famílias, que, em média, julgam a sua qualidade de vida como sendo excelente (Figura 6).

Figura 5. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio para o eixo Socioeconômico das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



Fonte: Elaborada pelos Autores.

O ISA “Condições sanitárias” foi de 87% (Figura 6). As condições sanitárias das propriedades foram um destaque positivo para a maioria dos indicadores, exceto para o indicador



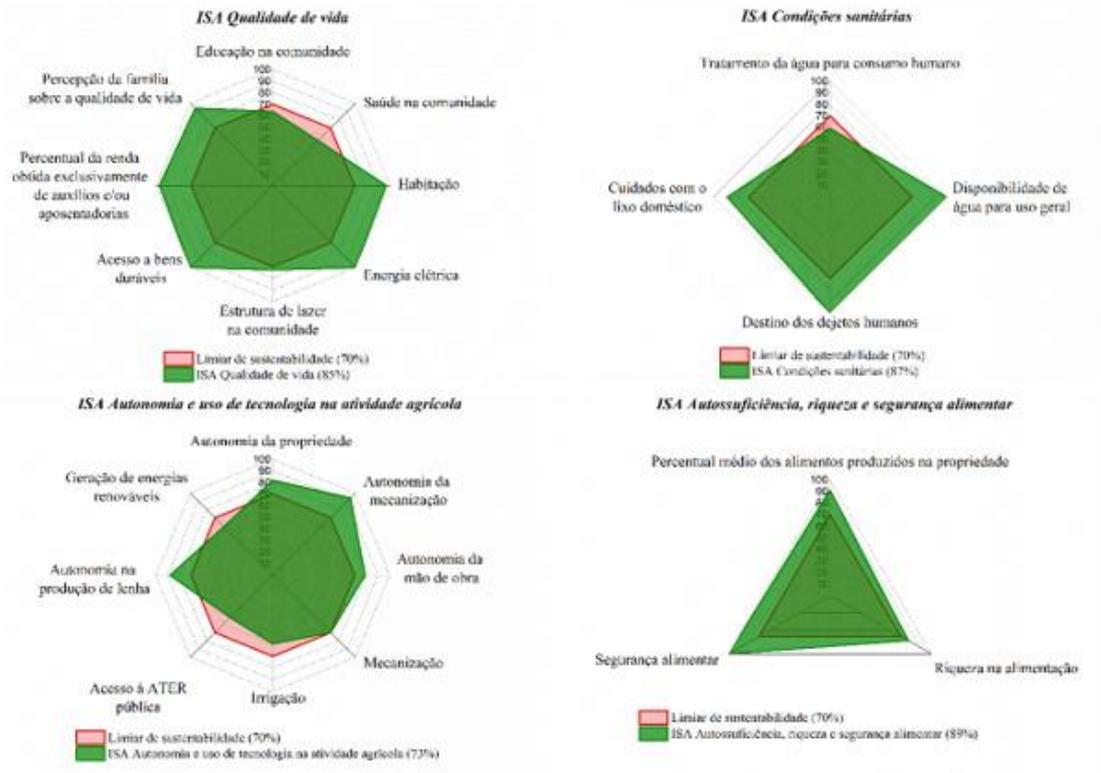
“Tratamento da água para consumo humano”, pois apenas 18% das propriedades utilizavam água com algum tipo de tratamento (Figura 6). Além disso, as propriedades que contavam com tratamento da água, na verdade, recebiam água tratada por empresa de saneamento ou prefeitura.

Quanto ao subíndice “Autonomia e uso da tecnologia na atividade agrícola”, embora o limiar de sustentabilidade tenha sido atingido, com um ISA médio de 73% (Figura 6), os indicadores “Irrigação”, “Acesso à ATER pública” e “Geração de energias renováveis” ficaram abaixo do limiar de sustentabilidade. De modo geral, as famílias possuem dependência de mão de obra de terceiros; não fazem colheita mecanizada; não utilizam irrigação, tornando a atividade agrícola sensível às situações de déficit hídrico; não possuem assistência técnica pública e não possui investimentos em geração de energias renováveis, ficando suscetível ao custo da energia elétrica. Em relação às questões alimentares, as famílias apresentam segurança alimentar plena, inclusive contando com riqueza/diversificação da alimentação (Figura 6). Além de produzirem grande parte dos alimentos que consomem.

O ISA Social conta com 23 indicadores, que têm como objetivo avaliar aspectos que possam contribuir para a manutenção da família na atividade agrícola e da sustentabilidade técnica e econômica da propriedade. Nesse contexto, a qualidade de vida é aspecto chave (Tavares, 2018). Neste sentido, uma qualidade de vida satisfatória, com algumas das facilidades encontradas nas cidades, pode ser indicativo forte de continuidade na atividade. Assim, um dos diferenciais do ISA Social em relação a outros modelos é a importância dada à opinião da família, que também foi transformada em um indicador, a “Percepção da família sobre a qualidade de vida”. Desta forma, a família fornece ao investigador a sua visão sobre a situação atual e as expectativas para a continuidade da família na atividade.



Figura 6. Índice de Sustentabilidade Auera para os subíndices “Qualidade de vida”, “Condições sanitárias”, “Autonomia e uso de tecnologia na atividade agrícola” e “Autossuficiência, riqueza e segurança alimentar”.



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Em relação às questões alimentares, foram incluídos no modelo, indicadores capazes de diagnosticar diferentes condições relacionadas à segurança alimentar. Em algumas regiões, o indicador “Segurança alimentar” será mais importante, pois é resultado da aplicação da Escala Brasileira de Insegurança Alimentar- EBIA, que tem o objetivo realizar um diagnóstico sobre a situação da segurança alimentar nutricional (Material suplementar). Por outro lado, há regiões em que o problema com insegurança alimentar é menor, nas quais, o subíndice “Riqueza da alimentação e autossuficiência na produção de alimentos” será mais decisivo. A produção de autoconsumo é uma prática clássica da agricultura familiar, porém, seguidamente é desconsiderada em estudos rurais e políticas públicas (Silva *et al.* 2021a).

Outro indicador-chave, é a “Autonomia e uso de tecnologia na atividade agrícola”. A autonomia está relacionada com a possibilidade de as famílias exercerem mudanças nos seus sistemas de governança, gestão e produção, em busca de elevar o nível de sustentabilidade. Propriedades arrendadas, por exemplo, limitam a autonomia da família na tomada de decisão



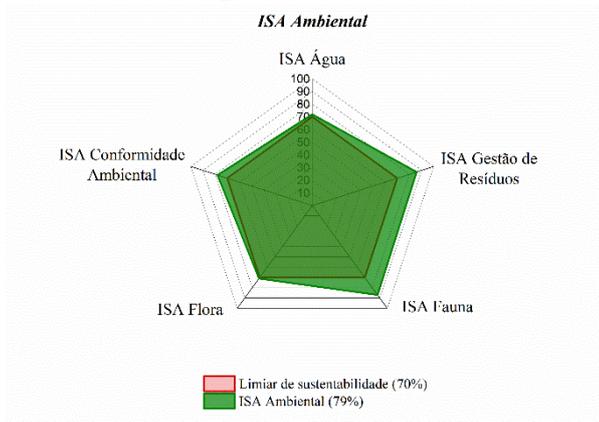
sobre temas importantes que implicam em investimentos de retorno a médio e longo prazo, mas que muitas vezes são necessários. A utilização de irrigação também fornece um indicativo de sustentabilidade das atividades agropecuárias e menor dependência do clima. Além disso, o acesso à ATER indica o nível de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) que a família dispõe para tratar das questões técnicas da propriedade. A ATER pública contribui para a sustentabilidade da propriedade como um todo, enquanto a privada, possui objetivos específicos em determinados produtos.

Rodrigues *et al.* (2010), avaliaram separadamente os indicadores sociais e econômicos, através do sistema APOIA-NovoRural, que avalia 15 indicadores para as duas dimensões. Entre os indicadores econômicos, destacaram-se os relacionados à renda e ao endividamento, questões que são desconfortáveis para as famílias, além de apresentarem alta complexidade para avaliação, uma vez que necessita que as famílias tenham um controle financeiro que em geral não estão habituadas a realizar. Por sua vez, o ISA priorizou indicadores que podem indicar a condição financeira de forma indireta, por exemplo, “Acesso a bens duráveis”, “Habitação” e “Percentual da renda obtido exclusivamente de auxílios e/ou aposentadorias”.

3.2 ISA AMBIENTAL

O ISA Ambiental foi de 79%, com índices superiores ao limiar de sustentabilidade para os cinco eixos que compõem a dimensão Ambiental (Figura 7). Os eixos Água e Flora foram os que apresentaram o maior potencial de melhoria.

Figura 7. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio da dimensão Ambiental das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



Fonte: Elaborada pelos Autores.

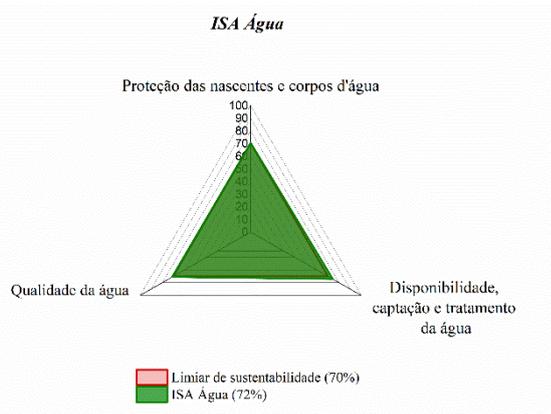


A) ISA Água

Nas áreas rurais, encontram-se a maioria das nascentes e mananciais de água e são centrais para a preservação e suprimento da água e de todos os serviços dela advindos (Coletti, 2022). Desta forma, o ISA Água tem como objetivo avaliar a condição dos corpos d'água, e a forma como a família atua na sua conservação e na manutenção da quantidade e qualidade da água disponível na propriedade.

O ISA Água médio das propriedades estudadas foi de 72% (Figura 8). Contudo, os indicadores do subíndice “Qualidade da água” indicam sérios problemas da água de consumo das famílias (Figura 9). Para este subíndice, os indicadores que avaliam a água de consumo humano apresentaram resultado inferior ao limiar de sustentabilidade, embora, em média, o ISA desse subíndice tenha ficado ligeiramente acima do limiar de sustentabilidade. Entre as principais razões está a Demanda Bioquímica por Oxigênio (DBO), que apresentou níveis elevados em relação ao preconizado pela legislação para a finalidade da água na propriedade (Material suplementar)¹. A avaliação negativa do indicador “Acesso de animais aos corpos d'água” (Figura 9) pode explicar a elevada atividade microbiana indicada pela DBO.

Figura 8. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio do eixo Água das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



O subíndice “Disponibilidade, captação e tratamento d'água” apresentou ISA de 74%, porém, os indicadores “Captação e armazenamento d'água” e “Tratamento de água para o consumo humano” apresentaram resultados negativos (Figura 9).

¹ <https://drive.google.com/file/d/1ncicul5K-5pG0Xlcom-esxeWhPuD4Rbg/view?usp=sharing>

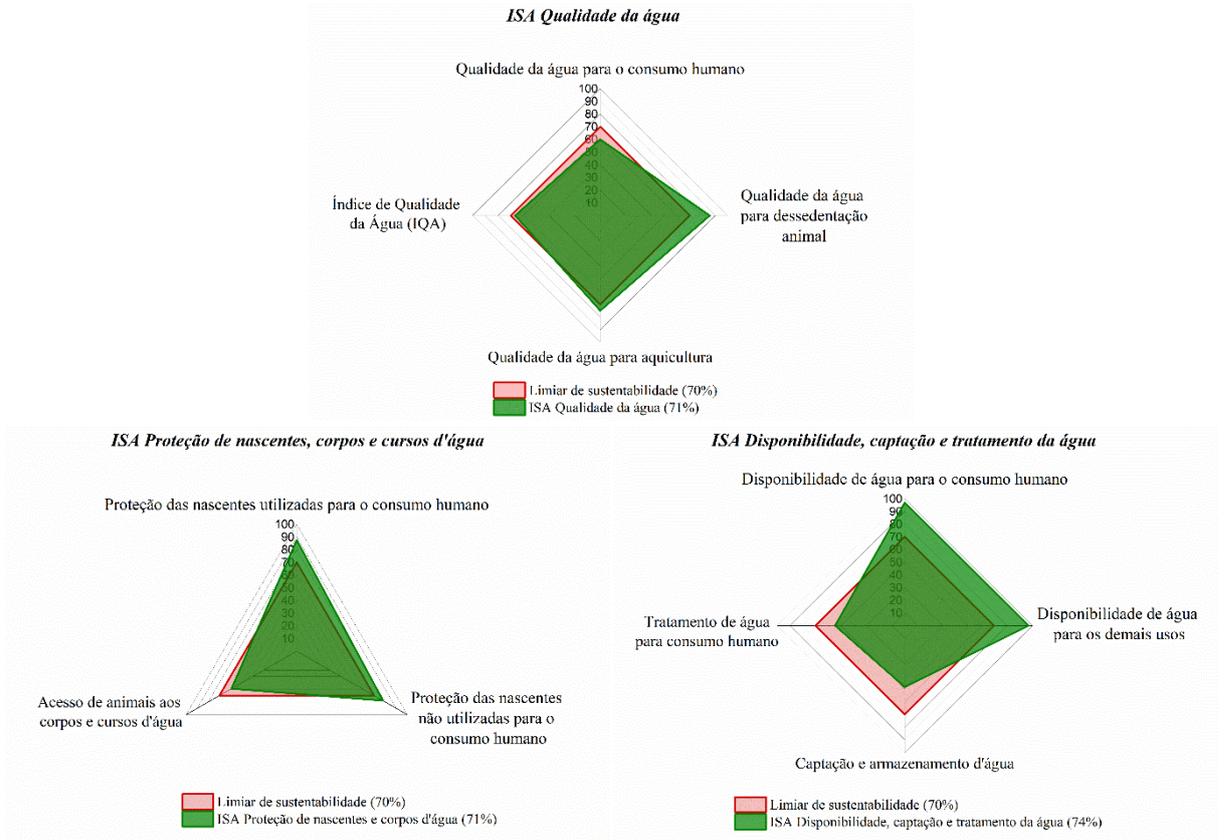


O ISA Água indica que há oportunidades de melhoria nas propriedades, e entre as principais ações pode-se destacar a necessidade de cercamento das nascentes, corpo e cursos d'água, para evitar o acesso dos animais, além do manejo adequado dos resíduos sólidos e efluentes, para melhoria da qualidade das águas superficiais, com redução da DBO. Outro gargalo é a necessidade de ampliação da captação e do armazenamento da água, como a instalação de estruturas que possibilitem o aproveitamento da água da chuva para a dessedentação animal e outros usos. De acordo com Soffa *et al.* (2020), existe a necessidade da promoção de ações em educação sanitária e mudanças de atitudes quanto à percepção dos recursos hídricos, com posturas preventivas no sentido de conservação do ambiente e promoção da sustentabilidade dos agroecossistemas na agricultura familiar.

Os indicadores físico-químicos utilizados para avaliação da qualidade da água de consumo humano no ISA Água são similares aos encontrados em outros índices, pois trata-se de um conjunto de indicadores fundamentais e amplamente aceitos, utilizados principalmente pelas companhias de tratamento d'água. No entanto, cabe salientar que o ISA Água conta ainda com indicadores para avaliação da qualidade da água para outros fins dentro da propriedade, como dessedentação animal e aquicultura, além de contar com indicadores relacionados aos cuidados quanto à conservação dos corpos d'água, da disponibilidade de água e da capacidade de armazenamento de água da propriedade. Não foram contemplados indicadores voltados à avaliação da contaminação da água por agrotóxicos, em função do custo das análises, o que tornaria a aplicação do ISA inviável em larga escala, porém avaliações biológicas podem ser agregadas para suprir essas necessidades. Entretanto, o excesso de nitratos e de fósforo na água, associado à proximidade da nascente ou do corpo hídrico das áreas de cultivo, são indicativos da contribuição de efluentes agrícolas (Soffa *et al.*, 2020).



Figura 9. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio dos subíndices “Qualidade da água”, “Proteção de nascentes, corpos e cursos d’água” e “Disponibilidade, captação e tratamento da água” das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



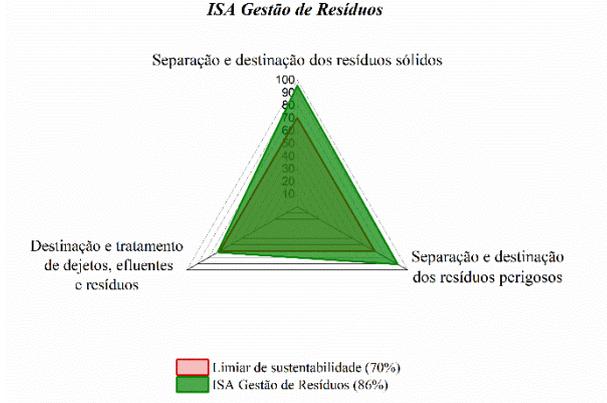
B) ISA Gestão de Resíduos

O ISA do eixo Gestão de Resíduos médio foi de 86% (Figura 10), indicando uma gestão eficiente dos resíduos das propriedades. Contudo, o resultado poderia ter sido melhor, pois o subíndice “Destinação e tratamento de dejetos, efluentes e resíduos” apresentou indicadores com notas abaixo do limiar de sustentabilidade (Figura 11).

Com relação aos subíndices “Separação e destinação dos resíduos sólidos” e “Separação e destinação de resíduos perigosos”, as propriedades apresentam desempenho positivo, com todos os indicadores superando o limiar de sustentabilidade (Figura 11). A destinação incorreta dos resíduos sólidos constitui-se em uma grande fonte de contaminação do solo, dos recursos hídricos e do ar (Deggorone & Da Costa, 2018). Como destaque, pode-se citar o manejo das embalagens de agrotóxicos, consideradas de alto risco e que possuem um grande potencial de contaminação ambiental e humana (Mazza *et al.*, 2014). No presente estudo de caso, as famílias realizam o recolhimento, o armazenamento e a destinação adequados (Figura 11).



Figura 10. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio do eixo Gestão de Resíduos das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



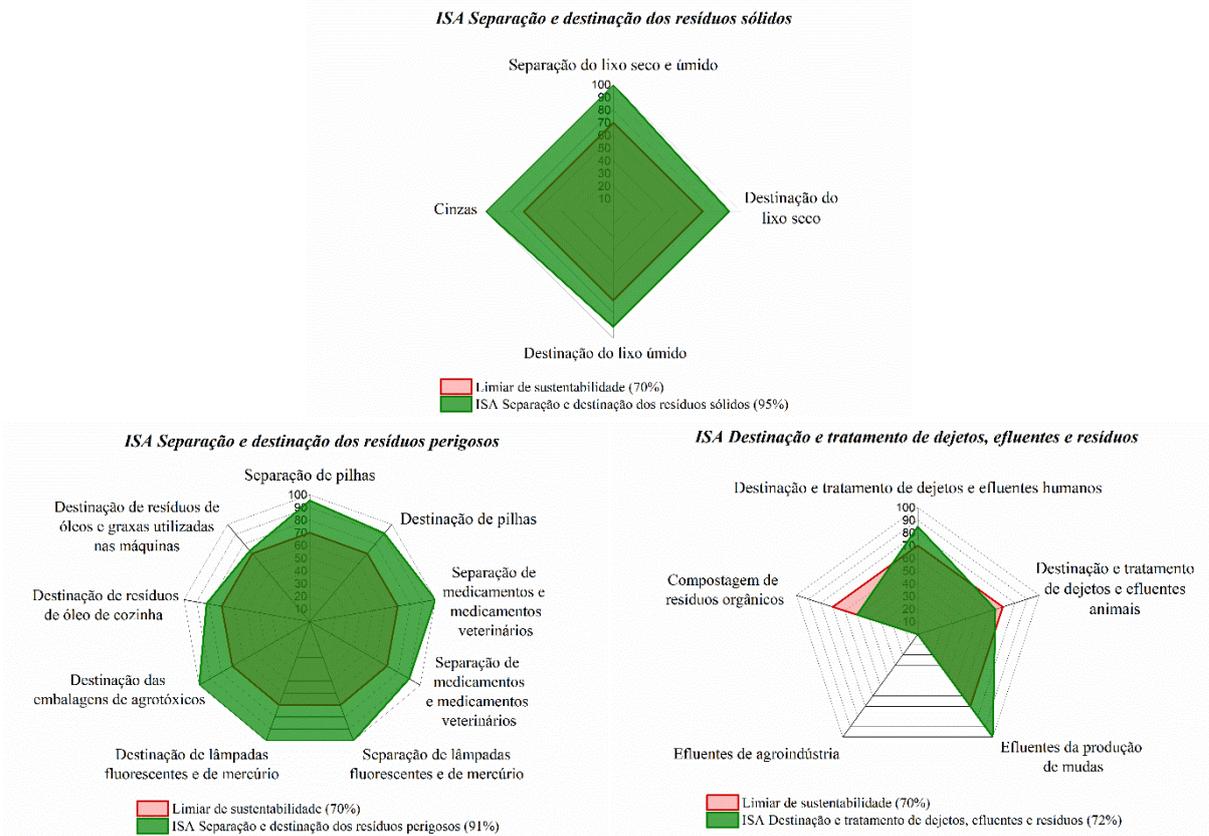
Fonte: Elaborada pelos Autores.

O subíndice “Destinação e tratamento de dejetos, efluentes e resíduos” apresentou ISA de 60%, com necessidade de melhoria dos indicadores “Destinação e tratamento de dejetos e efluentes animais” e “Compostagem de resíduos orgânicos”. Os dejetos animais sem tratamento constituem uma fonte de contaminação dos recursos hídricos; e a presença de altas quantidades de coliformes termotolerantes, alta DBO e grandes quantidades de nitrogênio revelam esse impacto negativo aos cursos hídricos (Winckler *et al.*, 2022).

A respeito dos dejetos humanos, as famílias fazem um tratamento adequado, dentro do possível em áreas rurais, sem acesso ao saneamento público. De acordo com Porto *et al.* (2019), para propriedades de agricultura familiar, as soluções individuais mais comuns para os esgotos sanitários são predominantes.

Em relação ao conjunto de indicadores do ISA Gestão de Resíduos, buscou-se avaliar o manejo dos resíduos gerados na propriedade, bem como, do seu aproveitamento, quando possível, para utilização como insumos no sistema de produção. Nesse sentido, o ISA é pioneiro ao disponibilizar um eixo formado por um grande conjunto de indicadores, especificamente para essa finalidade. Outros sistemas de avaliação da sustentabilidade dispõem de alguns indicadores que avaliam a gestão de resíduos na propriedade, porém, através de um conjunto menor de indicadores, que ficam dentro de dimensões mais abrangentes, tais como, Gestão e Administração, Socioeconômicos, Econômica, Ecológica e Ambiental (Rodrigues *et al.*, 2010; Gallo *et al.*, 2016; Deggorone; Costa, 2018; García *et al.*, 2023).

Figura 11. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio dos subíndices “Separação e destinação dos resíduos sólidos”, “Separação e destinação dos resíduos perigosos” e “Destinação e tratamento de dejetos, efluentes e resíduos” das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



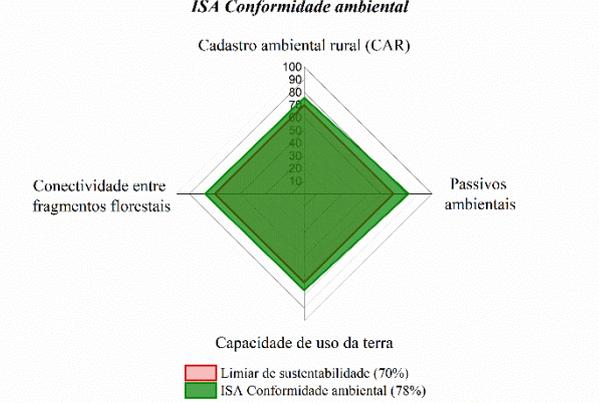
C) ISA Conformidade ambiental

O ISA Conformidade ambiental médio das propriedades foi de 78%, resultado superior ao limiar de sustentabilidade (Figura 12). Os ISAs dos subíndices que compõe o ISA Conformidade ambiental também ficaram acima do limiar, contudo alguns indicadores merecem atenção especial, como “Reserva Legal”, “Passivos em APPs de curso hídrico” e “Cultivo temporário mecanizado em áreas não aptas” (Figura 13). Muitas propriedades não tinham a Reserva Legal declarada no CAR. Também foram observados problemas com as APPs de cursos hídricos, sendo comum a ocorrência de desmatamento e acesso de animais às matas ciliares.

O cumprimento da legislação é avaliado através do Cadastro Ambiental Rural (CAR) da propriedade e da existência de passivos ambientais. O ISA Ambiental pode ser adaptado para a legislação ambiental rural de diferentes países, com diferentes biomas, uma vez que é composto de indicadores objetivos e, portanto, de aplicação universal.



Figura 12. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio do eixo Conformidade ambiental das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



Fonte: Elaborada pelos Autores.

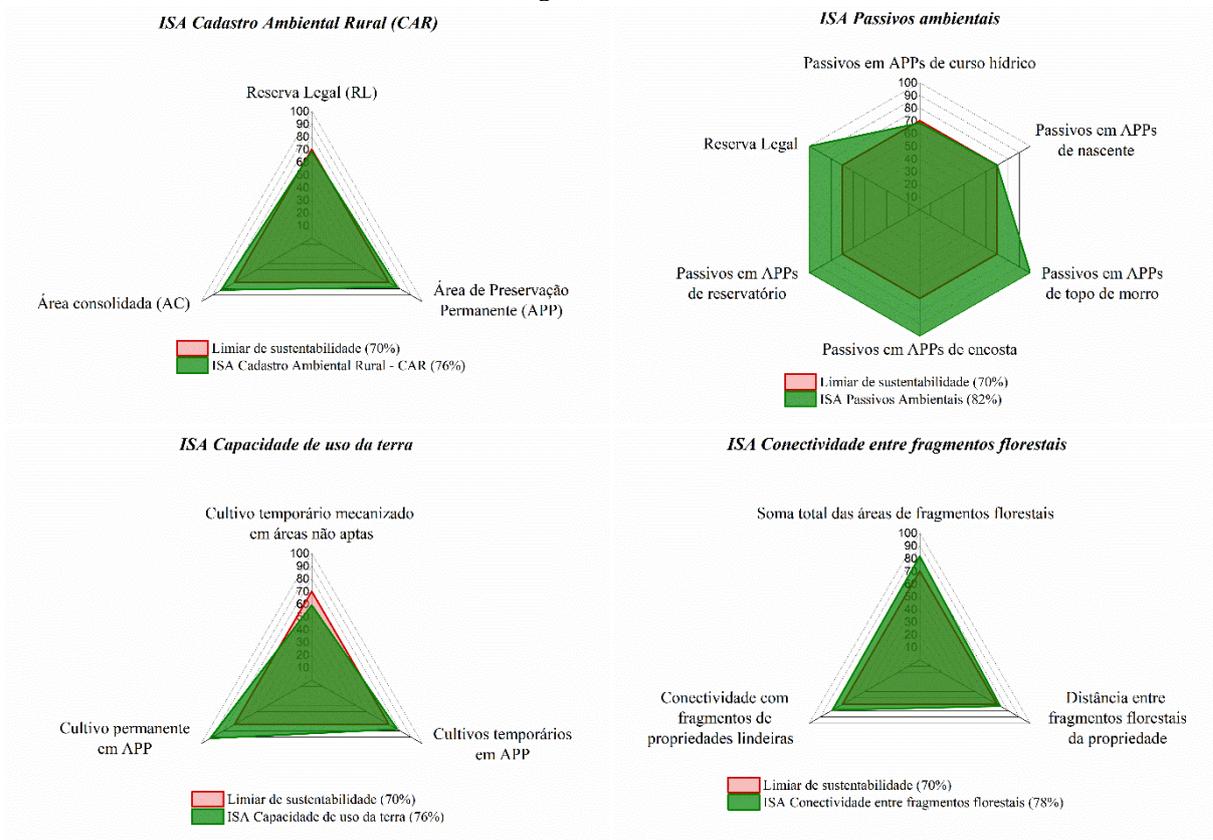
O conhecimento do tamanho e da distribuição dos fragmentos de vegetação nativa da propriedade estão relacionados com a função dessas áreas para a sustentabilidade ambiental local, pois, a formação de corredores ecológicos, unindo fragmentos isolados, facilita o deslocamento de animais, sendo uma ferramenta para manter e restaurar a biodiversidade em ecossistemas fragmentados (Seoane *et al.*, 2010).

Quanto à capacidade de uso da terra (Figura 13), refere-se à avaliação do uso que os agricultores estão dando às áreas e a sua real capacidade de uso, considerando principalmente a declividade. Segundo Sobrinho e Barbosa (2022), o sentido do declive e a declividade, são fatores preponderantes na perda de solo por erosão. Neste sentido, áreas com declividade superior a 20% são consideradas inaptas (Höfig; Araujo-Junior, 2015). Além disso, as áreas de APP de encosta também são consideradas inaptas ao cultivo anual ou agrícola, pois desempenham papel ambiental, e dessa forma, devem ser preservadas.

Em geral, os agricultores do Sul do Brasil avaliados apresentam problemas na declaração da Reserva legal da propriedade, além de apresentarem passivos ambientais em APPs de curso hídrico e implantarem cultivos anuais em áreas que não seriam aptas para esse fim. Tais resultados indicam a necessidade de conscientização dos agricultores quanto a importância da Reserva legal e da proteção das matas ciliares e de áreas com declividade elevada. Condições que intensificam a erosão e o assoreamento dos cursos hídricos, potencializando os danos causados por eventos climáticos extremos, como os observados no Rio Grande do Sul em maio de 2024.



Figura 13. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio para a dimensão Ambiental das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



Fonte: Elaborada pelos Autores.

D) ISA Fauna

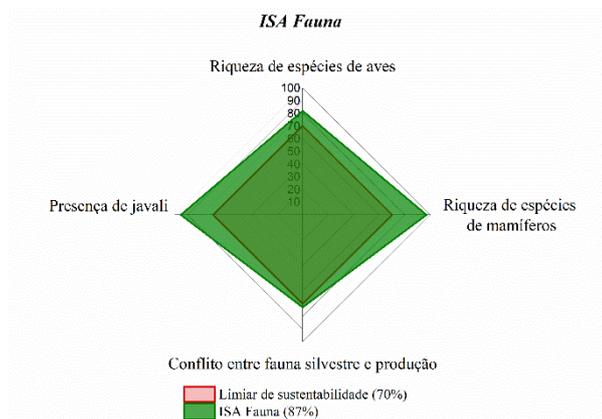
O ISA Fauna indica uma condição satisfatória das propriedades, com valor de 87% (Figura 14). A riqueza de aves e mamíferos demonstra a importância das propriedades como santuários de preservação da fauna silvestre. Além disso, não foram relatados conflitos importantes com a fauna silvestre, que se caracterizaram basicamente por relatos de danos causados por aves às frutas de pomares domésticos ou aos cultivos de milho. Quanto à presença de javali, espécie utilizada como indicador de bioinvasão pelo IBAMA, não foram observados problemas entre os produtores de tabaco do Sul do Brasil.

A riqueza e a diversidade de espécies de aves e mamíferos tem sido utilizada como indicador da qualidade ambiental em sistemas produtivos (Pinheiro, Silva, 2013), considerando que muitas espécies frágeis à antropização desaparecem com a alteração dos ecossistemas. Por sua vez, a presença de javali tem preocupado muitos produtores na região Sul do Brasil, considerando os prejuízos diretos que esta espécie tem causado à produção, especialmente pelos



danos em lavouras e estruturas e predação em criações; a espécie também é vetor de doenças que afetam animais domésticos e o homem (IBAMA, 2019, 2020).

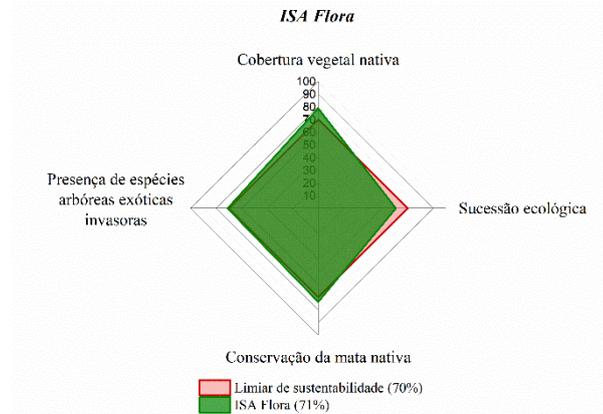
Figura 14. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio do eixo Fauna das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



E) ISA Flora

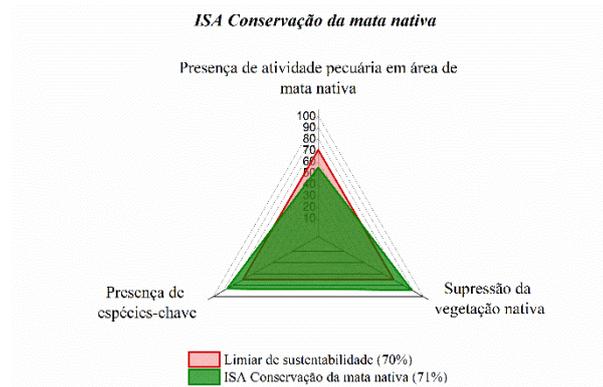
O ISA Flora de 71% indica que as propriedades estão, em média, no limite do limiar de sustentabilidade, havendo a necessidade de conscientização dos agricultores sobre a importância da recuperação e conservação das áreas de mata nativa dentro das propriedades (Figura 15). Ao observarmos os indicadores que formam o índice, apenas o indicador “Sucessão ecológica” apresentou nível de sustentabilidade abaixo do limiar de sustentabilidade (Figura 15). Essa característica indica que a maior parte das áreas nativas é formada por Capoeira (árvores pioneiras estão presentes) e Capoeirão (espécies secundárias dominam a composição da vegetação secundária), com baixa ocorrência de Florestas Primárias. No subíndice “Conservação da mata nativa” constatou-se ainda ser muito comum a presença de atividade pecuária em áreas de mata nativa, dificultando o crescimento e desenvolvimento de novos indivíduos e a comprometendo a longevidade das diversas espécies nativas que caracterizam essas áreas (Figura 16).

Figura 15. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio do eixo Flora das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



Em relação aos indicadores do ISA Flora, observa-se semelhanças com outros índices de avaliação da sustentabilidade, sendo comum a todos eles, o foco na conservação e proteção das áreas de mata nativa presentes na propriedade. Alguns indicadores que evidenciam essa questão são: “Vegetação nativa - fitofisionomias e estado de conservação”, “Faz a restrição ao acesso de animais a córregos”, “Recomposição e/ou isolamento de matas ciliares e nativas”; “Recuperação de áreas de preservação permanente”, entre outros (Rodrigues *et al.*, 2010; Natalli *et al.*, 2020).

Figura 16. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio para o subíndice “Conservação da mata nativa” das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



3.3 ISA PRODUTIVO

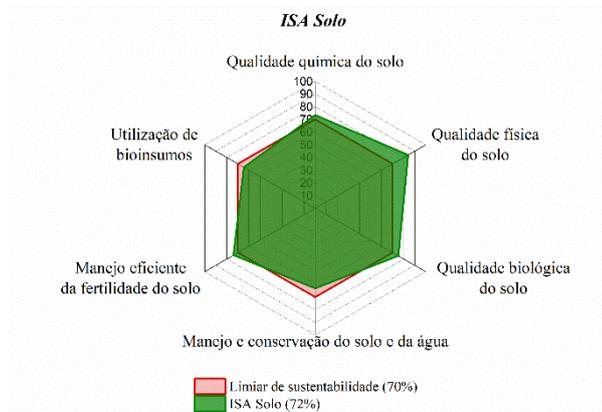
O ISA da dimensão Produtiva foi de 70%, ficando no limite do limiar de sustentabilidade. Tendo o ISA Solo ficado acima do limiar (72%) e o ISA Agrobiodiversidade abaixo (69%).



A) ISA Solo

O ISA Solo médio das propriedades foi de 72% (Figura 17), superando ligeiramente o limiar de sustentabilidade. Entretanto, os subíndices “Manejo e conservação do solo e da água” e “Utilização de bioinsumos” ficaram ligeiramente abaixo (Figura 18). Além disso, com exceção do subíndice “Qualidade física do solo”, os demais subíndices ficaram muito próximos ao limiar e com indicadores importantes abaixo.

Figura 17. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio do eixo Solo das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Em relação ao subíndice “Qualidade química do solo”, o ISA ficou acima do limiar, especialmente para indicadores relacionados aos micronutrientes. Contudo, indicadores fundamentais para a equilíbrio nutricional do solo, como pH, CTC, saturação por bases, saturação por alumínio, matéria orgânica e teores de fósforo e potássio, tiveram desempenho abaixo do necessário para manter os sistemas produtivos sustentáveis (Figura 18). Esse resultado está de acordo com o observado nos indicadores do subíndice “Manejo eficiente da fertilidade do solo” (Figura 18), pois, embora seja realizada a análise de solo periodicamente, a correção da acidez e a adubação nem sempre são efetuadas de acordo com a interpretação dessa análise. Desta forma, é provável que o agricultor esteja realizando subcalagem e adubação inadequada.

Problemas relacionados à falta de calagem também foram observados por Damasceno *et al.* (2011), que constataram uma redução do nível de sustentabilidade de propriedades da agricultura familiar por falta de calagem adequada. Isso ocorre porque os solos brasileiros são predominantemente ácidos, apresentando restrições ao desenvolvimento da maioria das plantas cultivadas e, portanto, a utilização de corretivos da acidez é uma prática de grande importância



para a produção agrícola, sendo o calcário agrícola o principal produto utilizado (CQFS/RS-SC, 2016).

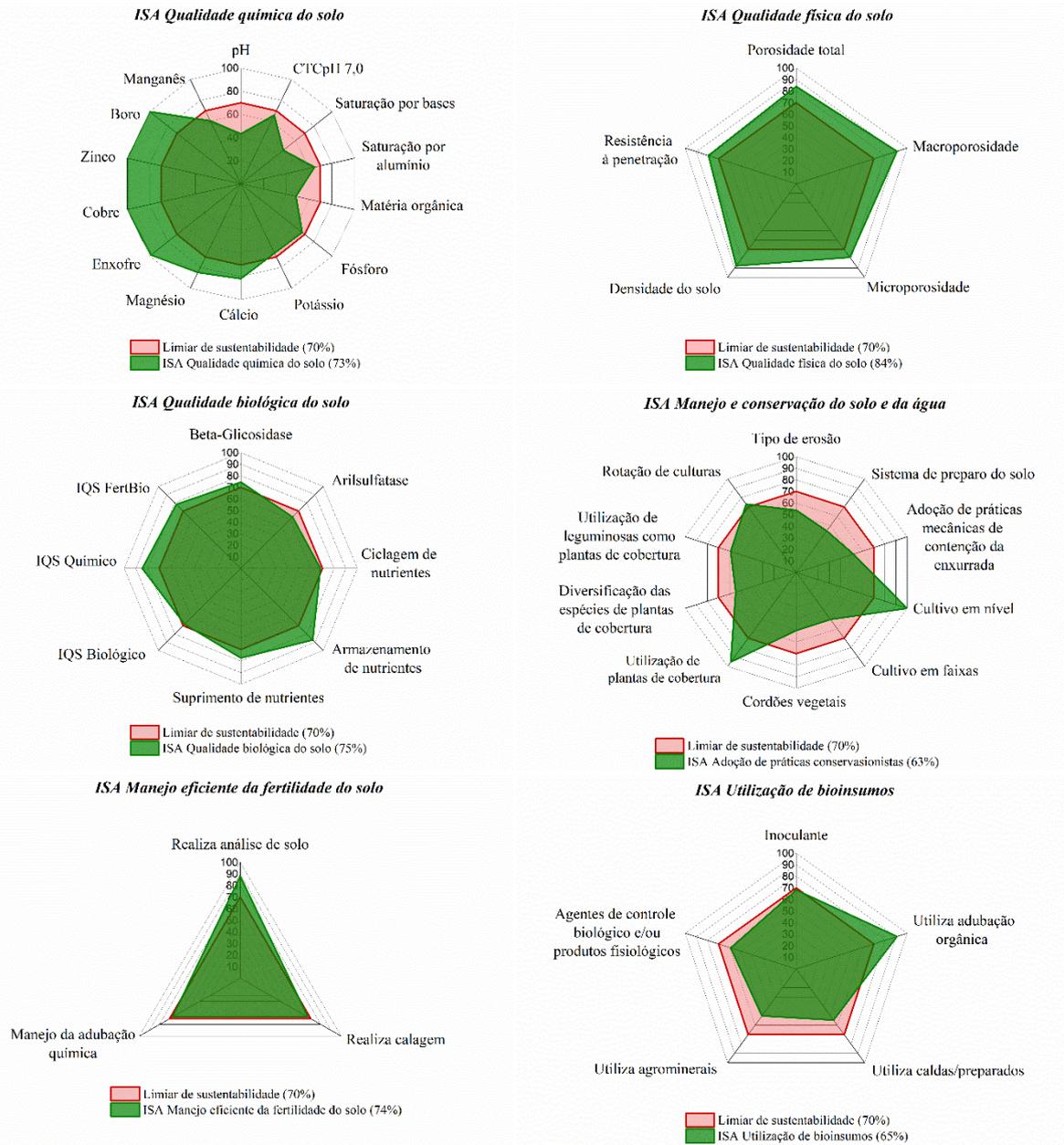
Em relação ao baixo teor de M.O., a erosão, a baixa adoção de práticas conservacionistas e a baixa diversidade de plantas de cobertura do solo, indicadas no subíndice “Manejo e conservação do solo e da água”, ajudam a compreender os resultados (Figura 18). O esgotamento do carbono orgânico pela erosão é uma séria preocupação ambiental, além de seu efeito na sustentabilidade da produção agrícola (Chen *et al.*, 2004). De acordo com Pierce e Lal (1994), uma relação espiral cíclica ocorre entre o esgotamento da M.O. e a erosão, pois a redução do conteúdo de M.O. no solo aumenta a suscetibilidade do solo à erosão. A M.O. é considerada indicador eficiente da qualidade do solo, sendo um componente vital para a estabilização de agregados, para uma melhor taxa de infiltração de água, e de água disponível para as plantas (Sharma *et al.*, 2023).

A falta de atenção em relação ao manejo conservacionista do solo e da água não é um problema exclusivo das propriedades em questão. Segundo dados do Censo Agropecuário de 2006, em termos percentuais da área total das propriedades brasileiras, apenas 28,25% possuem curvas de nível, 8,59% terraços, 13,39% fazem rotação de cultura, 11,11% fazem recuperação de pastagem e 7,78% utilizam o pousio (IBGE, 2009; Fortini *et al.*, 2020).

A falta de atenção com a conservação do solo soma-se também o uso excessivo de fertilizantes e agroquímicos na produção agrícola da propriedade, com baixa utilização de bioinsumos (Figura 18). Esta situação compromete a sustentabilidade da propriedade, uma vez que a forte dependência por insumos externos, como fósforo e potássio, pode limitar a produção agrícola em futuro próximo, seja pela questão dos custos que oscilam de acordo com a economia internacional ou, em longo prazo, devido à disponibilidade, visto que as reservas locais e globais são finitas e não renováveis. Segundo Camargo *et al.* (2017), a extinção destas fontes gerará um impacto real e irreversível para toda a sociedade.



Figura 18. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio dos subíndices “Qualidade química do solo”, “Qualidade física do solo”, “Qualidade biológica do solo”, “Manejo e conservação do solo e da água”, “Manejo eficiente da fertilidade do solo”, e “Utilização de bioinsumos” das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Quanto aos indicadores empregados no ISA Solo, grande parte também são contemplados pelos principais modelos de avaliação da qualidade do solo no mundo, como o Soil Management Assessment Framework (SMAF), o Comprehensive Assessment of Soil Health (CASH) e o Soil Health Assessment Protocol and Evaluation (SHAPE) (Andrews *et al.*, 2004; Idowu *et al.*, 2009; Nunes *et al.*, 2021). Contudo, um diferencial do ISA Solo, são os indicadores relacionados ao

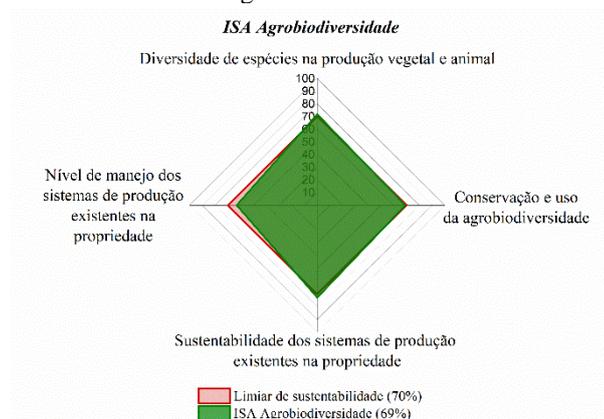


funcionamento biológico do solo, representados pela Tecnologia de Bioanálise de Solo (BioAS), baseada na avaliação das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase (Mendes *et al.*, 2021). Essas enzimas têm sido utilizadas em avaliações da qualidade do solo, apresentando alta sensibilidade (Santos *et al.*, 2022).

B) ISA Agrobiodiversidade

O ISA Agrobiodiversidade médio das propriedades foi de 69%, ficando abaixo do limiar de sustentabilidade (Figura 19). Os subíndices que não atingiram o limiar foram “Conservação e uso da agrobiodiversidade” e “Nível de manejo dos sistemas de produção existentes na propriedade”. Contudo, os demais apresentaram desempenho próximo ao limiar de sustentabilidade, indicando potencial de melhoria em todos os aspectos relacionados à agrobiodiversidade das propriedades.

Figura 19. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio do eixo Agrobiodiversidade das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



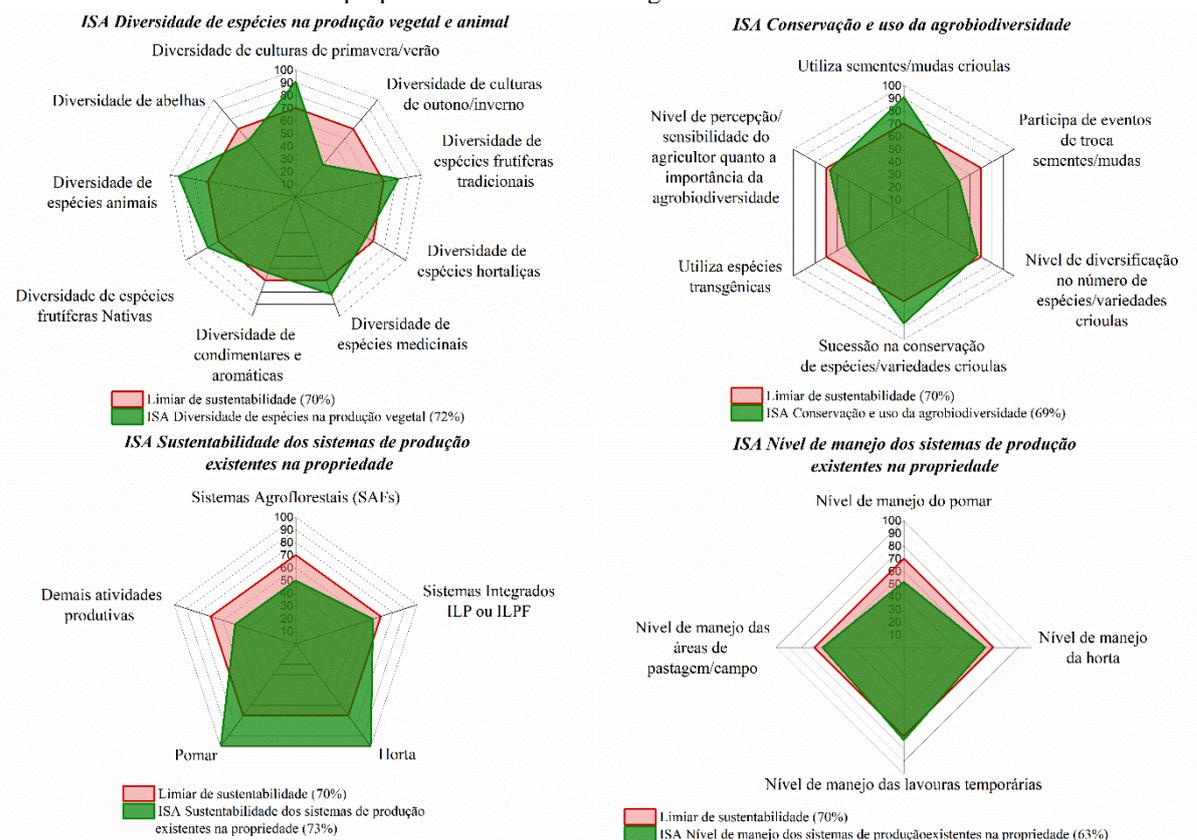
Fonte: Elaborada pelos Autores.

No subíndice “Diversidade de espécies na produção vegetal e animal” observou-se que o principal gargalo está relacionado à baixa diversidade de espécies de outono/inverno, além de haver carências na diversidade de hortaliças, de plantas condimentares e aromáticas e da diversidade de abelhas nas propriedades (Figura 20).

Com relação ao subíndice “Conservação e uso da agrobiodiversidade”, nota-se que os sistemas produtivos são centrados no uso de genótipos transgênicos, embora os agricultores utilizem variedades crioulas (Figura 20). A erosão genética é um problema que vem crescendo rapidamente ao longo dos anos, sobretudo com as facilidades obtidas no cultivo de materiais transgênicos. Segundo Akhalkatsi *et al.* (2017), a principal ameaça à agrobiodiversidade é a

perda de variedades de culturas locais e antigas. Neste sentido, agricultores que valorizam e conservam a agrobiodiversidade estão contribuindo para a sustentabilidade agrícola.

Figura 20. Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) médio dos subíndices “Diversidade de espécies na produção vegetal e animal”; “Conservação e uso da agrobiodiversidade”; “Sustentabilidade dos sistemas de produção existentes na propriedade”; e “Nível de manejo dos sistemas de produção existentes na propriedade”, das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil.



Fonte: Elaborada pelos Autores.

Outro subíndice com potencial de incremento do nível de sustentabilidade dessas propriedades é a “Sustentabilidade dos sistemas de produção existentes na propriedade” (Figura 20). Nesse contexto, a implantação de sistemas integrados de produção poderia impactar positivamente na sustentabilidade das propriedades. De acordo com Rota e Sperandini (2010), os benefícios dos sistemas integrados de produção agropecuária (SIPAs), como por exemplo, a integração lavoura-pecuária (ILP), traz benefícios em diversas dimensões: i) agrônômica, incluindo a preservação e manutenção da capacidade produtiva do solo; ii) econômica, visando a diversidade de produção de alimentos com segurança e maiores rendimentos com menor custo;



iii) ecológico, reduzindo pragas, uso de pesticidas e melhorando o controle da erosão; e iv) social, ao reduzir o desemprego nas áreas rurais.

Com relação ao “Nível de manejo dos sistemas de produção existentes na propriedade”, em geral, as áreas de produção com espécies anuais são melhor manejadas. Já os pomares, hortas e pastagens recebem menor atenção dos agricultores (Figura 20). Provavelmente porque os sistemas de produção envolvendo espécies como o tabaco, o milho e a soja, são as principais fontes de receita dessas propriedades, enquanto pomare, hortas e pastagens, estão relacionados com a produção para autoconsumo.

Os indicadores que compõem o ISA Agrobiodiversidade têm como objetivo diagnosticar o nível de sustentabilidade dos vários sistemas produtivos presentes na propriedade, mesmo aqueles que não estão voltados à comercialização. De acordo com Silva *et al.* (2019), as culturas para autoconsumo promovem a sustentabilidade da atividade agrícola.

Dentre os modelos com indicadores relacionados à agrobiodiversidade, empregados em propriedades agrícolas familiares no Brasil, destacam-se os modelos APOIA-NovoRural (Rodrigues *et al.* 2010) e o MESMIS (Verona, *et al.*, 2010). Para o primeiro, os indicadores de agrobiodiversidade são três, “Diversidade e condições de manejo das áreas de produção”, “Diversidade e condições de manejo das atividades confinadas (agrícolas/não-agrícolas e de confinamento animal)” e “Diversidade produtiva”. Já, para o segundo, os indicadores avaliados são oito: “Atuações Participativas Entrevistas”, “Busca Alternativas Levantamento de campo”; “Facilidade de adoção de Alternativas”; “Nível de conversão”; “Grau de Assistência Técnica”; “Execução de atividades de experimentação”; “Consciência Ecológica”; e “Rendimento da produção”. Nesse contexto, o ISA Agrobiodiversidade, através de uma maior densidade de indicadores, 28 ao total, busca diagnosticar a sustentabilidade dos diversos sistemas de produção da propriedade e suas interações.

O MESMIS é um modelo que apresenta características como flexibilidade e adaptabilidade a diferentes níveis de informação e capacitação técnica. Essas características também são verificadas no ISA Agrobiodiversidade, uma vez que as informações necessárias para a sua construção são obtidas através de um questionário estruturado, aplicado durante uma conversa com a família, além da observação da propriedade pelo técnico (Silva *et al.* 2021b; Silva *et al.* 2023).



4 CONCLUSÃO

A produção agrícola sustentável é uma demanda urgente e global e, nesse cenário, as propriedades agrícolas familiares desempenham papel fundamental. Desta forma, o Índice de Sustentabilidade Auera (ISA) se mostrou uma ferramenta tanto de avaliação do nível de sustentabilidade das propriedades, quanto de gestão e diagnóstico dos pontos fortes e fracos que essas propriedades apresentam. Possibilitando a identificação de oportunidades de melhoria visando o incremento da sustentabilidade de cada eixo que compõe o ISA.

No contexto das propriedades avaliadas na região Sul do Brasil, o ISA indica que de forma geral, as propriedades apresentaram nível de sustentabilidade que atende ao limiar de sustentabilidade (70%) para a maioria dos indicadores, contudo, existem oportunidades de melhoria em indicadores-chave para a sustentabilidade de longo prazo das propriedades.

Para as questões socioeconômicas, as famílias mostraram-se satisfeitas com a qualidade de vida. Porém, em relação à condução dos sistemas produtivos, foram identificadas carências no acesso às tecnologias básicas, como irrigação e mecanização das atividades. Além de falta de ATER pública, sendo mais comum a prestação desse serviço por empresas privadas com interesses específicos, e desta forma faltando um olhar integrado dos sistemas de produção.

Com relação às questões ambientais, observou-se que os dejetos animais são fontes de contaminação da água nessas propriedades, havendo a necessidade urgente de ações de manejo adequado desses resíduos. Resíduos que também possuem potencial para a elaboração de bioinsumos, elevando o patamar de sustentabilidade dos sistemas produtivos. As propriedades estão parcialmente conforme com a legislação ambiental, sendo o principal gargalo a demarcação adequada da Reserva Legal. Além disso, outras questões que impactam significativamente na sustentabilidade ambiental são a utilização de áreas não aptas e/ou sensíveis à degradação (declividade elevada), especialmente à erosão; e a existência frequente de passivos ambientais em APPs de cursos hídricos, havendo a necessidade de reconstituição da mata ciliar e do cercamento dessas áreas para evitar os danos causados pelos sistemas de produção animal, especialmente a pecuária. Entretanto, a situação ambiental ainda é positiva em relação à diversidade da fauna e da flora encontradas nessas propriedades, sugerindo que esses estabelecimentos podem ser considerados santuários de biodiversidade e que a manutenção das áreas nativas e a criação de corredores ecológicos deve ser incentivado.



Em relação aos aspectos produtivos, constatou-se um manejo do solo equivocado, com baixa adoção de práticas conservacionistas e conseqüentemente a generalização da erosão. Além disso, a fertilidade do solo nessas propriedades está comprometida em função da falta de calagem e da adição de matéria orgânica ao sistema. De forma geral, ainda são propriedades diversificadas, que além dos sistemas de produção de interesse comercial, também contam com hortas, pomares e cultivos de plantas medicinais. Embora, seja perceptível que os sistemas de produção para autoconsumo são delegados a um segundo plano de prioridade.

Pode-se concluir que as propriedades ainda possuem um nível de sustentabilidade aceitável. Contudo, o ISA abaixo do limiar de sustentabilidade em alguns indicadores-chave, indica uma tendência negativa para o futuro.

Como metodologia de avaliação e ferramenta de gestão da sustentabilidade, o ISA mostrou-se eficiente em fornecer um valor objetivo ao nível de sustentabilidade das propriedades agrícolas familiares do Sul do Brasil. Em estudos futuros, a seleção de indicadores pode ser uma alternativa para viabilizar a aplicação do ISA em larga escala, inclusive como ferramenta de gestão pública.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Embrapa por fornecer a estrutura e a equipe técnico-científica e a Philip Morris Brasil por financiar o Projeto Auera, que viabilizou o desenvolvimento do ISA a partir da avaliação da sustentabilidade em um amplo conjunto de propriedades agrícolas familiares do Sul do Brasil.



REFERÊNCIAS

AKHALKATSI, M.; OTTE, A.; TOGONIDZE, N.; BRAGVADZE, T.; ASANIDZE, Z.; ARABULI, G.; CHIKHELIDZE, N.; MAZANISHVILI, L. Agrobiodiversity and genetic erosion of crop varieties and plant resources in the Central Great Caucasus. **Annals of Agrarian Science**, v.15, n.1, p.11-16, 2017.

ANDREWS S.S.; KARLEN D.L.; CAMBARDELLA C.A. The soil management assessment framework: A quantitative soil quality evaluation method. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p.1945-62. 2004.

CAMARGO, F.A.O.; SILVA, L.S.; MERTEN, G.H.; CARLOS, F.S.; BAVEYE, P.C.; TRIPLETT, E.W. Brazilian agriculture in perspective: greatexpectationsvs reality. **Advances in Agronomy**, v.141, p.53-114, 2017.

CHAND, P.; SIROHI, S.; SIROHI, S.K. Development and application of an integrated sustainability index forsmall-holder dairy farms in Rajasthan, India. **Ecological Indicators**, v.56 p.23-30, 2015.

CHEN, C.R.; XU, Z.H.; MATHERS, N.J. **Soil Carbon Pools in Adjacent Natural and Plantation Forests of Subtropical Australia**. Soil Science Society of America Journal, 2004.

COLETTI, T. Ninguém diga “desta água não beberei”: produção agropecuária e contaminação hídrica no Oeste Catarinense, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 38, n.4, e00165421, 2022.

CQFS-RS/SC □ Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2016. 376p.

DAMASCENO, N.P.; KHAN, A.S.; LIMA, P.V.P.S. O impacto do Pronaf sobre a sustentabilidade da agricultura familiar, geração de emprego e renda no Estado do Ceará. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.49, n.1, 2011.

DEGGORONE, Z.A.; DA COSTA, J.F.R. Indicadores de sustentabilidade na produção de alimentos: uma análise sobre a produção olerícola no município de Erechim – RS. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v.7, n.3, p.350-380, 2018.

FAO, 2013. **Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems (SAFA): Guidelines, Version 3.0**. Food and Agricultural Organization of the United Nations.

FORTINI, R.M., BRAGA, M.J.; FREITAS, C.O. Impacto das práticas agrícolas conservacionistas na produtividade da terra e no lucro dos estabelecimentos agropecuários brasileiros. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.58, n.2, e199479, 2020.

GALLO, A. de S.; GUIMARÃES, N. de F.; CUNHA, C.; SANTOS, R.D de P.; CARVALHO, E.M. Indicadores da sustentabilidade de uma propriedade rural de base familiar no estado de

Mato Grosso do Sul. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.11, n° 3, p. 104-114, 2016.

GARCÍA, G.P.T.J.; DURAND-CHÁVEZ, L.M.; QUISPE-CCASA, H.A.; LINARES-RIVERA, J.L.; PORTOCARRERO, G.T.S.; TITO, R.C.; PÉREZ, H.V.V.; QUINTANA, J.L.M.; AMPUERO-TRIGOSO, G.; RODRÍGUEZ, R.R.R.; SAUCEDO-URIARTE, J.A. Sustainability of livestock farms: The case of the district of Moyobamba, Peru. **Heliyon**, v.9, n.2, e13153, 2023.

GENG, X.; ZHANG, D.; LI, C.; LI, Y.; HUANG, J.; WANG, X. Application and Comparison of Multiple Models on Agricultural Sustainability Assessments: A Case Study of the Yangtze River Delta Urban Agglomeration, China. **Sustainability**, v.13, n.1. 2021.

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

HÖFIG, P.; ARAUJO-JUNIOR, C. F. Classes de declividade do terreno e potencial para mecanização no estado do Paraná. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 195-203, 2015.

HU, S.; YANG, Y.; ZHENG, H.; MI, C.; MA, T.; SHI, R. A framework for assessing sustainable agriculture and rural development: A case study of the Beijing-Tianjin-Hebei region, China. **Environmental Impact Assessment Review**, v.97, 2022, 106861.

IBAMA. **Manual de boas práticas para o controle de javali**. Brasília, DF, 2020. 40p.

IBAMA. **Relatório sobre áreas prioritárias para o manejo de javalis: aspectos ambientais, socioeconômicos e sanitário**. Brasília, DF, 2019. 51p.

IBGE. **Censo agropecuário 2006: Brasil, grandes regiões e unidades da federação**. Rio de Janeiro, 2009. pp. 1-77.

IBGE. **Pesquisa de orçamentos familiares 2017-2018: análise da segurança alimentar no Brasil** / IBGE, Coordenação de Trabalho e Rendimento. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 65 p.
IDOWU, O.J., VAN ES, H.M.; ABAWI, G.S.; WOLFE, D.W.; SCHINDELBECK, R.R.; MOEBIUS-CLUNE, B.N.; B.K. GUGINO. Use of an integrative soil health test for evaluation of soil management practices. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v.24, p. 214–224, 2009.

IFAD - **International Fund for Agricultural Development**. Via Paolo di Dono, Rome, Italy, November, 2014.

MASERA, O.; ASTIER, M.; LOPEZ-RIDAURA, S. Sustentabilidad y manejo de recursos naturales: el marco de evaluación MESMIS. México: Mundi-Prensa, 1999.

MATHIJS, E. **Sustainable Food Consumption and Production in a Resource-constrained World**. European Commission: Brussels, Belgium, 2012.



MAZZA, V.M.S.; L.R.R.; MADRUGA, G.; ÁVILA, L.V.; PERLIN, A.; MACHADO, E.C.; DUARTE, T.L. Gestão de resíduos sólidos em propriedades rurais de municípios do interior do estado do Rio Grande do Sul. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.7, n.3, p.683-706, 2014.

MENDES, I.C., SOUSA, D.M.G., CHAER, G.M., REIS JUNIOR, F.B., LOPES, A.A.C., DANTAS, O.D., SOUZA, L.M. **Soil bioanalysis: a simple and effective tool to access and interpret soil health**. Rome, pp. 256-261, 2021.

MIURA, A. K.; CUNHA, H. N.; ÁVILA, M. R.; SPIERING, V.; PEREIRA, I. S.; GOMES, G. C.; VALGAS, R. A. PILLON, C. N. **Plano amostral para diagnóstico de sustentabilidade ambiental: um estudo de caso em propriedades produtoras de tabaco do Sul do Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2022. 28 p. (Documentos / Embrapa Clima Temperado, 532).

NATALI, L.H.; MUNARETTO, L.F.; BIANCHINI, D.C.; HENKES, J.A. Práticas de sustentabilidade ambiental em propriedades rurais. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.9, n.1, p.351-374. 2020.

NUNES, M.R.; VEUM, K.S.; PARKER, P.A.; HOLAN, S.H.; KARLEN, D.L.; AMSILI, J.P.; VAN ES, H.M.; WILLS, S.A.; SEYBOLD, C.A.; MOORMAN, T.B. The soil health assessment protocol and evaluation applied to soil organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v.85, p. 1196–1213, 2021.

PEREIRA, I.S.; MARIANA ROCKENBACH DE ÁVILA, M.R.; PILLON, C.N.; SPIERING, V.; CUNHA, H.N.; GUSTAVO CRIZEL GOMES, G.C.; ROSANE MARTINAZZO, R.; MIURA, A.K. Seleção de propriedades agrícolas para avaliações de sustentabilidade. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar**, v.9, n.2, 2023.

PIERCE, J.; LAL, R. **Monitoring the Impact of Soil Erosion on Crop Productivity**. In: Soil Erosion Research Methods, 2nd Edition, 1994. 29p.

PINHEIRO, M. S.; SILVA, J. J. C. **Caracterização de aves escolhidas para avaliação de indicadores de sustentabilidade na planície costeira sul do rio grande do sul**. 2013. Embrapa Série Documentos. Embrapa Clima Temperado.

PORTO, B. B.; SALES, B. M.; REZENDE, S. Saneamento básico em contextos de agricultura familiar. **Revista DAE**, n.220, v.67, 2019.

RODRIGUES G.S.; RODRIGUES, I.A.; BUSCHINELLI, C.C.A.; BARROS, I. Integrated farm sustainability assessment for the environmental management of rural activities. **Environmental Impact Assessment Review**, v.30, p.229-239, 2010.

ROTA, A.; SPERANDINI, S. **Integrated crop-livestock farming systems**. Livestock Thematic Papers. Tools for Project Design. IFAD, International Fund for Agricultural Development, Rome, Italy, p.01-08. 2010.

SMĘDZIK-AMBROŻY, K.; STEPIEŃ, S.; MATUSZCZAK, A.; TOSOVIC-STEVANOVIC, A. Small-scale farms in the environmental sustainability of rural areas. Opinions of farmers from poland, romania and Lithuania. **Ekonomia i Środowisko**, v.81, n.2, 2022.

SANTOS, J. V.; RAIMUNDO, B. L.; DIAS, J. B.; CORSO, M. M.; PERONDI, P. A. O.; PEZZOPANE, J. R. M.; BERNARDI, A. C. C.; MENDES, I. C.; MARTIN-NETO, L. The long-term effects of intensive grazing and silvopastoral systems on soil physicochemical properties, enzymatic activity, and microbial biomass. **Catena**, v.219, 106619, 2022.

SEOANE, C. E. S.; DIAZ, V. S.; SANTOS, T. L.; FROUFE, L. C. M. Corredores ecológicos como ferramenta para a desfragmentação de florestas tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 30, n. 63, p. 207, 2010.

SILVA, G. H. P., BRANCHI, B. A. Contribuições para a gestão sustentável de Unidades de Conservação em áreas urbanas: uma análise de percepção sobre 15 indicadores de sustentabilidade. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v.8, n.62, p. 58-73, 2020.

SILVA, H. L.; COUTINHO, D. J. G. Indicador de sustentabilidade: MESMIS – revisão de literatura. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.16, n.12, p. 30555-30574, 2023.

SILVA, J. V.; LOPES, V. S.; ALMEIDA, M. V. R.; GIRÃO, A. L. A.; QUEMEL, P. DA S.; OLIVEIRA, R. T.; OLIVEIRA, T. S. Segurança alimentar de agricultores agroecológicos do Semiárido Brasileiro. **Revista ELO - Diálogos em Extensão**, v.10, 2021.

SILVA, L. C. A. FONTOURA, F.; MELLO, L. L.; DEPONTI, C. M. Diversificação rural: a importância para agricultura familiar da produção para autoconsumo na cultura do tabaco. **Desenvolvimento Regional: Processos, Políticas e Transformações Territoriais**, p.1-18, 2019.

SOBRINHO, J. F.; BARBOSA, F.E.L. Perdas de solo em área agrícola do semi-árido. **Mercator**, v.21, 21020, 2022.

SOFFA, A.F.; SILVA, E.B.; CÂNDIDO, F.S.; DALAZEN, J.R.; ANJOS, M.M.; GARCIA, R.R.F.; CAVALI, J.; PORTO, M.O.; FERREIRA, E. Água para consumo humano e dessedentação no meio rural de rolim de moura, amazônia ocidental. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.9 n.1, 23-43, 2020.

SHARMA, D.; SHARMA, V.; BUTTAR, T.S.; SHARMA, A.; ARYA, V.M. Edge-of-field monitoring to assess the effectiveness of conservation practices in the reduction of carbon losses from the foothills of the Himalayas. **Catena**, v.225, 107030, 2023.

TAVARES, F. B. R. **Indicadores socioeconômicos e ambientais para a sustentabilidade na agricultura familiar no alto sertão paraibano**. 2018. 54 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Sistemas Agroindustriais) - Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil, 2018.

VERONA, L.A.F. **Avaliação de sustentabilidade em agroecossistemas de base familiar e em transição agroecológica na região sul do Rio Grande do Sul.** 2008. 192p., Tese (Doutorado em Agronomia) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008.

VERONA, L, A. A real sustentabilidade dos modelos de produção da agricultura: Indicadores de sustentabilidade na agricultura. **Associação Brasileira de Horticultura**, v. 28, n. 2. 2010.

WINCKLER, L. T.; BOZZATO, J.V.; PILLON, C.N.; ÁVILA, M.R. de PEREIRA, I. dos S. **Tecnologias aplicadas à melhoria de recursos hídricos em propriedades rurais.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2022. 22 p.

YANG, W. BAO, Y. LIU. Couplingcoordinationanalysis of rural production-living-ecologicalspace in the Beijing-Tianjin-Hebei region. **Ecological Indicators**, v.117, 2020.

ZANG, Y.; YANG, Y.; LIU, Y. Understanding rural system with a social-ecological framework: Evaluating sustainability of rural evolution in Jiangsu province, South China. **Journal of Rural Studies**, v.86, p.171-180, 2021.