





Avaliação da sustentabilidade de práticas de intensificação da produção leiteira a pasto no sul de Minas Gerais

Assessment of the sustainability of pasture-based dairy production intensification practices in southern Minas Gerais

Marcelo Rodrigues Martins¹ , Eduardo Gomes Salgado² , Jean Marcel de Souza Lira³ ,
Marcelo Lacerda Rezende⁴ 

¹Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Alfenas (MG), Brasil. E-mail: marcelo.martins@emater.mg.gov.br

²Instituto de Ciências Exatas, Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Alfenas (MG), Brasil. E-mail: eduardo.salgado@unifal-mg.edu.br

³Departamento de Engenharia Florestal, Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa (MG), Brasil. E-mail: jean.marcel@ufv.br

⁴Instituto de Ciências Exatas, Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), Alfenas (MG), Brasil. E-mail: marcelo.rezende@unifal-mg.edu.br

Como citar: Martins, M. R., Salgado, E. G., Lira, J. M. S., & Rezende, M. L. (2025). Avaliação da sustentabilidade de práticas de intensificação da produção leiteira a pasto no sul de minas gerais. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 63, e272989. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2025.272989>

Resumo: A intensificação da produção leiteira pode impactar negativamente o meio ambiente, o bem-estar animal e a saúde humana. Embora aumente a produtividade e os ganhos econômicos, também acarreta custos sociais e ambientais específicos. Desta forma, este estudo utilizou o Indicador de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA) para avaliar a sustentabilidade da intensificação da produção de leite à pasto em propriedades no Sul de Minas Gerais. O ISA avalia a sustentabilidade com 21 indicadores em sete subíndices: Balanço Econômico, Balanço Social, Gestão do Estabelecimento Rural, Capacidade Produtiva do Solo, Qualidade da Água, Manejo dos Sistemas de Produção e Ecologia da Paisagem Agrícola. Em 2021, foram coletados dados de seis propriedades através de questionários. O balanço ambiental foi inferior ao limiar de sustentabilidade (0,70) em todas as propriedades, que, exceto uma, foram sustentáveis economicamente e socialmente. As propriedades focaram mais nos aspectos econômicos e sociais, negligenciando questões ambientais. Houve uma correlação positiva entre a intensificação da produção (L.ha/ano) e os indicadores ambientais, econômicos e sociais. Isso demonstra que o aumento da produtividade, quando acompanhado de práticas ambientalmente corretas, pode manter ou melhorar os indicadores ambientais.

Palavras-chave: indicadores socioeconômicos e ambientais, sustentabilidade, leite a pasto.

Abstract: The intensification of dairy production can negatively impact the environment, animal welfare, and human health. While it increases productivity and economic gains, it also incurs specific social and environmental costs. The Agroecosystem Sustainability Indicator (ISA) assesses sustainability using 21 indicators grouped into seven sub-indices: Economic Balance, Social Balance, Farm Management, Soil Productive Capacity, Water Quality, Production System Management, and Agricultural Landscape Ecology. This study used the ISA to evaluate the sustainability of pasture-based dairy production intensification in farms in southern Minas Gerais. In 2021, data were collected from six farms through questionnaires. The environmental balance was below the sustainability threshold (0.70) in all farms, which, except for one, were economically and socially sustainable. The farms focused more on economic and social aspects, neglecting environmental issues. There was a positive correlation between production intensification (L.ha/year) and environmental, economic, and social indicators. This demonstrates that increased productivity, when accompanied by environmentally friendly practices, can maintain or improve environmental indicators.

Keywords: socio-economic and environmental indicators, sustainability, pasture milk.

1. Introdução

O Brasil é o quarto maior produtor de leite do mundo, precedido pela Índia, Paquistão e Estados Unidos da América, com uma produção estimada de 36.752 mil toneladas em 2020 (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). Além disso, possui mais de 1 milhão de propriedades produtoras de leite, com predomínio de pequenas e médias propriedades, empregando aproximadamente 4 milhões de pessoas. Essa produção concentra-se principalmente nas regiões Sul e Sudeste do país, sendo o estado de Minas Gerais o principal produtor, com cerca de 27% da produção nacional (Brasil, 2019).

A produção de leite no Brasil aumentou em torno de 80% ao longo das últimas duas décadas, utilizando praticamente o mesmo número de vacas ordenhadas, graças à elevação da produtividade do rebanho. Outras mudanças ocorreram na estrutura de produção, entre elas uma redução expressiva do número de produtores e a intensificação dos sistemas de produção. Assim, devido à adoção de novas tecnologias, foi possível um aumento significativo da produtividade dos animais, da terra e da mão de obra e consequentemente da escala de produção das fazendas (Rocha et al., 2020).

A intensificação da produção de leite, em especial com base em pastagens, tem sido um fenômeno global e é cada vez mais significativa em países produtores de leite, como Nova Zelândia, Austrália, Estados Unidos, China, além do Brasil. Assim, cada vez mais atenção está sendo dada por pesquisadores e formuladores de políticas aos vários fatores relacionados à intensificação por causa de sua associação com o desempenho social, econômico e ambiental das fazendas leiteiras (Ma et al., 2020).

Entende-se por intensificação da produção leiteira, tanto a pasto, quanto em confinamento, uma maior produtividade animal e da área disponível aos animais (litros por animal/dia e L/ha.dia); das plantas forrageiras para alimentação (toneladas/ha); da mão de obra (litros/dia de serviço); maior utilização de tecnologias em genética animal e vegetal; aumento no uso de máquinas, equipamentos, mecanização e robotização; dentre outras técnicas que proporcionam uma maior produção, com menor custo e menor impacto ambiental (Bava et al., 2014; Gonzalez-Mejia et al., 2018).

De acordo com a Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018), com a tendência de aumento do consumo de produtos de origem animal, o setor pecuário precisa buscar alternativas para aumentar a produção sem que haja, necessariamente, expansão de áreas para essa finalidade. É necessário portanto, se concentrar na melhoria da eficiência do uso de recursos no setor pecuário para apoiar os meios de subsistência, a segurança alimentar a longo prazo e o crescimento econômico, salvaguardando os resultados relacionados aos aspectos ambientais e de saúde pública.

Nesse contexto, a intensificação da produção leiteira deve estar alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) que visam erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir que todas as pessoas desfrutem de paz e prosperidade até 2030. Essa intensificação deve, portanto, ser conduzida de forma que permita aumentar a produtividade agrícola e a produção sustentável de alimentos (ODS 2); promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos (ODS 8); assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis (ODS 12); além de auxiliar na tomada de medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos (ODS 13).

Entretanto, na pecuária leiteira, os efeitos da intensificação sobre o impacto ambiental da produção de leite não estão completamente esclarecidos (Bava et al., 2014). Alguns autores demonstram que essa intensificação pode gerar efeitos ambientais negativos, como desmatamento, perda de biodiversidade e emissões de gases de efeito estufa, entre outros (Steinfeld et al., 2006; Bava et al., 2014; Chobtang et al., 2017; Jan et al., 2019). Por outro lado,

a possibilidade de maximizar a produção de leite com a minimização dos impactos ambientais foi demonstrada por Berre et al. (2014) e Ryan et al. (2016).

No Brasil, ainda há poucos estudos relacionados à eficiência ambiental na produção leiteira. Silva & Bragagnolo (2018) encontraram uma correlação positiva da eficiência técnica com a ambiental em fazendas no estado de Minas Gerais, nas regiões do Triângulo e Alto Paranaíba. Por outro lado, existem poucos estudos que busquem relacionar as eficiências técnica e econômica com a eficiência ambiental na produção de leite (Almeida & Bacha, 2021). Estes resultados são obtidos, muitas vezes, através da aplicação de indicadores de sustentabilidade.

Os indicadores de sustentabilidade utilizados para avaliar o desempenho de propriedades agrícolas têm se destacado por focarem nas dimensões econômicas, sociais e ambientais (Diazabakana et al., 2014). Eles são instrumentos valiosos para mensurar as modificações nas características de um sistema, avaliar uma situação presente e sua tendência de comportamento, bem como estabelecer um termo de comparação em escala temporal e espacial, quando o levantamento é refeito alguns anos após (Ferreira et al., 2012). De acordo com Rodrigues et al. (2018), a utilização dos indicadores favorece a identificação dos mecanismos adequados de intensificação, relacionados aos fatores agrônômicos e às práticas adotadas no processo produtivo, que interferem positivamente no desempenho econômico e ambiental.

Neste contexto, observa-se que ainda existem várias questões que precisam ser mais bem esclarecidas em relação ao uso eficiente de insumos no processo produtivo e à mitigação dos potenciais impactos ambientais negativos da produção de leite. Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização do Indicador de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA) na análise da sustentabilidade da intensificação das práticas de produção de leite a pasto em propriedades no Sul de Minas Gerais.

O ISA é um indicador abrangente que considera as dimensões econômica, social e ambiental, sendo adotado pelo estado de Minas Gerais na formulação, implementação e monitoramento de planos, programas, projetos e ações que buscam a melhoria dos processos de produção agrícola, conforme decreto aprovado em dezembro de 2012 (Minas Gerais, 2012). Assim, espera-se que a aplicação do ISA permita uma análise detalhada e integrada da sustentabilidade, essencial para identificar práticas que promovam a intensificação sustentável da produção leiteira.

2. Fundamentação teórica

De forma a auxiliar na execução do objetivo proposto no presente trabalho, esta revisão apresenta inicialmente o conceito de sustentabilidade, sua relação com o setor agropecuário, os indicadores para avaliá-la e sua relação com a intensificação da produção.

Assim, o conceito de desenvolvimento sustentável foi definido pela Comissão Brundtland em 1987 como “o desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender suas próprias necessidades” (World Commission on Environment and Development, 1987). Aprofundando este conceito, Elkington (1997) apresentou um modelo de desenvolvimento sustentável relacionando-o às ideias de prosperidade econômica, qualidade ambiental e justiça social. Desta forma, o sucesso de um país, região ou atividade econômica deve ser mensurado não somente pela sua capacidade de gerar renda, mas, também, pelo seu desempenho social e preservação do ambiente.

A partir deste conceito de sustentabilidade, a agricultura sustentável pode ser considerada como aquela que busca a melhoria na utilização dos bens e recursos naturais, minimiza os impactos ambientais, possibilita a viabilidade econômica e o bem-estar social. Portanto, não deixa de usar técnicas avançadas, por questões ideológicas, mas as utiliza de forma a aumentar

a produtividade sem causar danos ao ambiente. Entretanto, os modos atuais de intensificar a produtividade na pecuária leiteira são amplamente reconhecidos por gerar impactos negativos em múltiplas dimensões, como no meio ambiente, no bem-estar animal e na saúde humana. A maior produtividade pode aumentar os ganhos econômicos gerais, mas também incorre em custos sociais e ambientais específicos do local (Clay et al., 2020).

Esse processo de intensificação do setor pecuário tem se caracterizado nas últimas décadas pelo aumento da produção por hectare, aumento da taxa de lotação, inclusão de alimentos mais concentrados na dieta e melhoria genética das raças. Entretanto, na pecuária leiteira, os efeitos dessa intensificação no impacto ambiental da produção de leite não estão completamente esclarecidos (Bava et al., 2014). Esses autores, utilizando dados de 28 fazendas leiteiras no norte da Itália, afirmam que, do ponto de vista do produto, não é possível identificar a maneira mais ecológica de se produzir leite. Entretanto, características relacionadas à intensificação da pecuária, como produção de leite por vaca, eficiência leiteira e densidade de criação, foram negativamente relacionadas aos impactos por quilo de produto, sugerindo um papel desses fatores na estratégia de mitigação da carga ambiental da produção de leite em escala global.

Soteriades et al. (2016) demonstram que em um conjunto de 185 fazendas leiteiras da França, a sustentabilidade ambiental está negativamente relacionada com a produção de leite/vaca e o uso de silagem de milho e concentrados obtidos fora da propriedade. Para estes autores, a sustentabilidade ambiental da pecuária leiteira intensiva depende de sistemas e circunstâncias agrícolas particulares, embora afirmem que fazendas com maior autossuficiência podem ser preferíveis principalmente quando podem se beneficiar de preços de terra relativamente baixos e esquemas agroambientais destinados a manter pastagens.

Já Chobtang et al. (2017) consideram que a intensificação dos sistemas de pecuária leiteira baseada em pastagens geralmente está associada ao aumento do uso de insumos não agrícolas para aumentar a produção de leite por hectare. Assim, compararam níveis diferentes de intensificação na produção, considerando a hipótese de que impactos ambientais adicionais podem estar associados à produção e entrega desses insumos externos à propriedade. Em conclusão, afirmam que enquanto um aumento na intensificação dos sistemas de produção leiteira baseados em pastagem levou ao aumento da produção de leite por vaca e por hectare, também resultou em aumento dos impactos ambientais em diferentes indicadores. Dessa forma, concluem que além do aumento da eficiência no uso de recursos, o aumento da eficiência na utilização de pastagens pode ser uma medida promissora para melhorar a sustentabilidade ambiental dos sistemas de produção leiteira baseados em pastagens.

No mesmo sentido, Jan et al. (2019), utilizando diferentes indicadores de intensificação de produção em propriedades leiteiras da Suíça, encontraram uma correlação negativa desses indicadores com o desempenho ambiental local das propriedades, revelando um *trade-off* ambiental associado à intensificação agrícola.

Embora os estudos citados até aqui indiquem essa relação inversa entre produtividade e impactos ambientais, essa não é necessariamente uma regra. Slätmo et al. (2017) avaliaram três estudos com indicadores de sustentabilidade diferentes, utilizados em populações distintas. Em dois destes estudos, a sustentabilidade econômica foi obtida com o comprometimento da sustentabilidade ambiental. Por outro lado, um deles demonstrou a possibilidade de se conciliar a sustentabilidade econômica com a qualidade do meio ambiente.

Por outro lado, Berre et al. (2014) demonstraram a possibilidade de maximizar a produção de leite com a minimização dos impactos ambientais, desde que essa intensificação da produção ocorra de forma sustentável. Da mesma forma, Ryan et al. (2016), utilizando dados de propriedades irlandesas demonstraram que as fazendas de leite de melhor desempenho,

do ponto de vista econômico, também tendem a ser as de melhor desempenho do ponto de vista da sustentabilidade ambiental.

Na atividade de produção de carne, Benoit & Laignel (2010) encontraram uma melhor sustentabilidade ambiental em função da intensificação de sistemas com alta produtividade animal e autossuficiência de produção forrageira nas propriedades.

Um indicador de sustentabilidade para sistemas de produção leiteira foi desenvolvido por Gazola et al. (2018) e testado com 152 produtores do estado do Paraná. Esses sistemas de produção analisados tiveram melhor desempenho na dimensão ambiental da sustentabilidade, seguido das dimensões econômica e social. Além disso, os sistemas de produção leiteira com maior escala e maior produtividade apresentaram os melhores indicadores. Reforçando esse resultado, os autores propõem, como estratégias públicas e privadas, a definição de ações que visem aumentar a escala de produção e a produtividade nos sistemas, bem como ações que promovam maior acesso à informação e capacitação para que os produtores rurais possam tomar decisões de baixo risco para alcançar a sustentabilidade social, econômica e ambiental.

A mesma correlação positiva entre eficiência técnica e ambiental foi encontrada por Silva & Bragagnolo (2018) em fazendas leiteiras de Minas Gerais. Entretanto, a estimativa da eficiência ambiental feita pelos autores apresentou uma variabilidade maior que a da eficiência técnica entre as fazendas analisadas, mostrando que as eficiências ambientais das unidades produtoras são heterogêneas.

Por outro lado, ainda no estado de Minas Gerais, Gabrielli et al. (2023) utilizaram o Indicador de Sustentabilidade Ambiental (ISA), encontrando possíveis *trade-offs* entre as sustentabilidades ecológica, econômica e social. Entretanto, esses autores concluem que somente obtendo informações acerca da realidade e das particularidades das comunidades rurais, é que seria possível compreender melhor a existência e a dinâmica desses possíveis *trade-off*, devendo este ser um aspecto a ser abordado em trabalhos futuros, em diferentes situações.

3. Metodologia

Para este estudo, o Indicador de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA) foi aplicado em seis propriedades com produção de leite a pasto, localizadas no sul de Minas Gerais, durante o período de março a outubro de 2021, cuja localização está apresentada na Figura 1. A seleção dessas propriedades foi baseada em sua representatividade da região, abrangendo níveis tecnológicos considerados baixos ou médios, o que proporciona uma diversidade essencial para a pesquisa. Essas diferenças tecnológicas são cruciais para avaliar a sustentabilidade em diferentes contextos. Além disso, as análises detalhadas proporcionadas pelos indicadores do ISA justificam o uso de uma amostra menor, permitindo uma investigação mais aprofundada e precisa. Estudos anteriores, como o de Rodrigues et al. (2018), também utilizaram amostras semelhantes e demonstraram a eficácia dessa abordagem, reforçando a validade dessa metodologia.

A distinção entre os níveis tecnológicos, adotada no presente trabalho, foi feita com base em valores considerados por técnicos, extensionistas, pesquisadores e programas de assistência técnica (Costa, 2005; Gomes, 2005). Assim, sistemas de baixo nível tecnológico são aqueles com produção até 5.000 L/ha.ano. Sistemas com produtividade entre 5.001 a 10.000 L/ha.ano caracterizam nível tecnológico médio. Finalmente, sistemas com alto nível tecnológico, seja por utilização de pastagens melhoradas, adubadas, divididas em piquetes rotacionados, bem como maior eficiência na produção de forrageiras a serem oferecidas no cocho durante o período seco do ano, estão com produtividades acima de 10.000 L/ha.ano.

De forma geral, a produção a pasto nesta região pode ser caracterizada pela utilização de forrageiras tropicais como fonte principal de volumoso nos meses quentes e úmidos (outubro

a março) e alimentação no cocho, tais como silagens, cana picada nos períodos de seca do ano (abril a setembro).

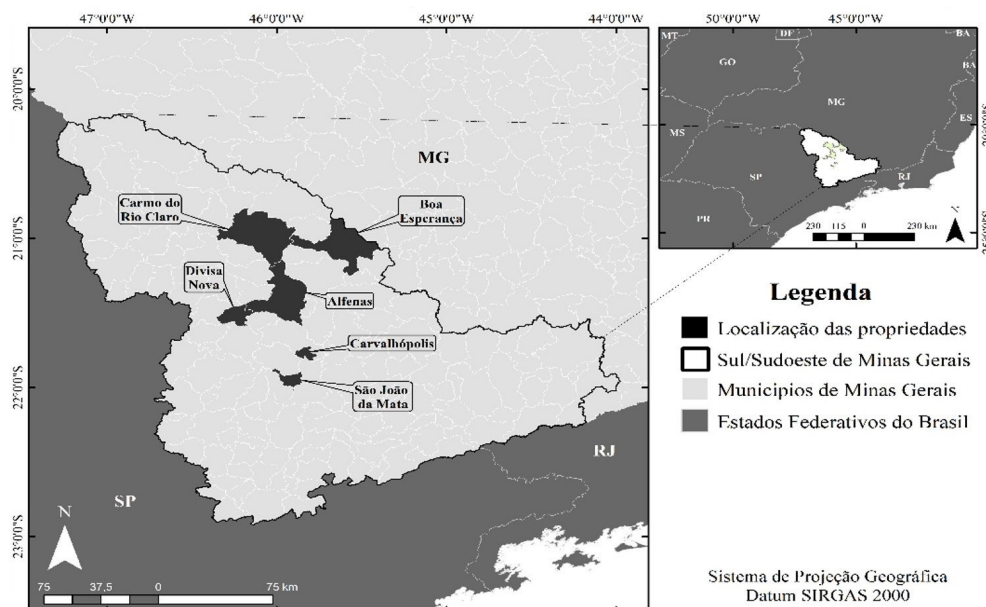


Figura 1 – Localização das propriedades estudadas no Sul de Minas Gerais.

Fonte: Mapa elaborado pelos autores.

O ISA, desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (Epamig), com participação de entidades relacionadas à pesquisa, ensino e extensão rural no estado de Minas Gerais, visa diagnosticar os balanços social, econômico e ambiental das propriedades, identificando pontos críticos e oportunidades de negócios. Esse conjunto de indicadores está agrupado em sete subíndices, envolvendo essas dimensões. Seu objetivo é auxiliar gestores públicos na identificação de vulnerabilidades e potencialidades em atividades agrossilvipastoris, além de apoiar a elaboração e monitoramento de programas de intervenção e reconhecimento de boas práticas. Gabrielli et al. (2023) e Martins et al. (2023) utilizaram o ISA como forma de avaliar o desempenho socioambiental em Minas Gerais e a metodologia deste índice foi criada e validada por Ferreira et al. (2012).

Os indicadores relacionados com o balanço econômico operam verificando a produtividade e o valor de venda das atividades de maior peso na receita monetária total do estabelecimento. É avaliada a composição da renda do produtor, considerando também se ocorre concentração de renda em uma única atividade. Além disso, verifica-se a evolução patrimonial do estabelecimento em um determinado tempo e seu grau de endividamento.

Com os indicadores relacionados ao balanço social verificam-se questões relativas à disponibilidade de bens e de serviços essenciais como água, coleta de lixo, energia elétrica, telefone, internet, acesso regular ao transporte público e ao transporte escolar, serviço de saúde e segurança alimentar (disponibilidade para plantios de frutas e hortaliças e criações como fontes de proteína animal). São verificados ainda o grau de escolaridade e o acesso a cursos de capacitação de todas as pessoas envolvidas no empreendimento, além da frequência de crianças em idade escolar no ensino regular.

Os indicadores relacionados com a gestão avaliam a capacidade de gestão do produtor rural com base no uso de instrumentos adequados de controle, administração e acesso a informações relativas ao negócio, assim como alguns aspectos relacionados com a geração de resíduos e

de medidas de segurança, quando se utilizam agrotóxicos e produtos veterinários. Verifica-se o grau de adoção de algumas ferramentas de gestão, tais como: contabilidade; acesso à assistência técnica; participação de formas associativas; regularização ambiental e acesso ao crédito. Verifica-se também se há busca de informações de mercado, aplicação de tecnologias inovadoras, capacidade de inovação e de colocação de produtos em mercados diferenciados.

Os indicadores relacionados com a qualidade do solo e da água avaliam a capacidade do ambiente prover os recursos mínimos necessários à manutenção dos sistemas de produção, assegurando uma produtividade estável com retorno econômico para o agricultor. São avaliados nove parâmetros relacionados com as propriedades químicas e físicas do solo. São feitas avaliações da qualidade da água de nascentes, dos corpos d'água que passam pelo estabelecimento, tanto a montante, quanto a jusante e da água subterrânea. Avalia-se também o potencial de contaminação da água com base nas características de todos os agrotóxicos, eventualmente utilizados no estabelecimento levando em conta a textura do solo e distância da gleba e o curso d'água.

Já os indicadores relacionados com o manejo dos sistemas de produção avaliam a adequação do manejo em curso com base no diagnóstico de sinais de degradação e erosão do solo. Avalia-se também o grau de adoção de medidas para a conservação dos solos em todos os sistemas de produção e o estado de conservação das estradas internas e de acesso à propriedade e a adoção de medidas para sua conservação e drenagem.

Por fim, os indicadores relacionados com a diversificação da paisagem rural e conservação da vegetação nativa avaliam o estado de preservação das áreas com vegetação nativa e o nível de fragmentação destes habitats no estabelecimento. São verificados o estado de conservação das áreas para preservação permanente (APP), e avaliado o cumprimento com a exigência de Reserva Legal (RL), em conformidade com o Código Florestal Brasileiro. Observa-se o grau de adoção de práticas que auxiliam na indução da agrobiodiversidade, a diversificação da paisagem na escala do estabelecimento agropecuário e o grau de diversificação das áreas fronteiriças em relação ao estabelecimento agropecuário.

Para cada um dos 21 indicadores é gerado um índice que varia de 0 a 1, obtido a partir de funções que atribuem valor às variáveis, ao comparar o valor aferido no estabelecimento com o valor de referência, utilizando-se fatores de ponderação para cada parâmetro avaliado. A seguir um índice final, também no intervalo de 0 a 1, é calculado a partir da média aritmética simples das notas atribuídas aos indicadores. A nota 0,7 foi definida, pelos criadores do índice, como o valor de base, ou limiar de sustentabilidade, para um bom desempenho ambiental, social e econômico.

Após a aplicação do ISA, utilizou-se a análise de componentes principais (PCA) para identificar as relações entre a intensificação da produção e os desempenhos ambientais. A PCA é uma técnica estatística que reduz a dimensionalidade dos dados, simplificando a análise e interpretação sem perder informações significativas (Malhotra, 2006). Assim, o conjunto de dados gerado pelo ISA e as variáveis relacionadas à intensificação da produção poderão ser analisados para identificar as variáveis principais que capturam a maior parte da variabilidade dos dados, facilitando a visualização e o entendimento dessas relações.

4. Resultados e discussão

4.1 Levantamento dos dados das propriedades

A Tabela 1 mostra as principais características das 06 propriedades estudadas. As propriedades com médio nível tecnológico apresentam uma maior eficiência no uso da terra e mostraram-se diversificadas, com outros produtos gerando renda tais como café, grãos e animais. Todas as propriedades possuem climas *Cwa*, de acordo com a Classificação Climática de Köppen-Geiger.

Tabela 1 - Caracterização das propriedades selecionadas no sistema de produção a pasto em Minas Gerais.

Propriedades	Área Total (ha)/ área para o leite	Atividades desenvolvidas	Sistema	% vacas em lactação/ total do rebanho	Produção por área (L/ha.ano)	Nível Tecnológico*	Nível de intensificação e tecnologias
Caso 1	33,43/16,06	Leite, Café e Milho Grão	Familiar	28	5.000	Médio	Controle parcial com fluxo de caixa e custo da atividade; Sala de ordenha canalizada com fosso e cocheira coberta; Pastagens degradadas e volumoso no cocho a maior parte do ano; não aduba pastagens.
Caso 2	44,00/38,47	Leite, animais e laticínios	Familiar	38	7.590	Médio	Controle de fluxo de caixa e custo total; Sala de ordenha canalizada com fosso e cocheira coberta; Pastagens reformadas em ILP e volumoso no cocho somente nas secas. Aduba pastagens nas reformas com ILP.
Caso 3	24,00/19,00	Leite e Animais	Familiar	34	11.500	Alto	Controle parcial com fluxo de caixa e custo da atividade; Sala de ordenha plana e canalizada e cocheira descoberta, mas sombreada; Piquetes rotacionados, formados com ILP e volumoso no cocho especialmente nas águas; adubam intensivamente as pastagens.
Caso 4	64,60/50,25	Leite, Animais e queijos	Patronal	29	2.138	Baixo	Controle parcial com fluxo de caixa e custo da atividade; Sala de ordenha canalizada plana com cocheira; Piquetes rotacionados adubados e mau manejados; volumoso no cocho
Caso 5	66,50/60,00	Leite e Animais	Patronal	36	2.550	Baixo	Controle parcial com fluxo de caixa e custo da atividade; Sala de ordenha com fosso e transferidor; Pista de trato coberta/calçada; Pastagens adubadas sem critério e degradadas; Volumoso no cocho somente nas secas.
Caso 6	32,20/23,80	Leite, animais e café	Familiar	31	3.823	Baixo	Não controla fluxo de caixa e custos da atividade; Curral de alimentação e sala de ordenha plana juntas; Pastagens degradadas; volumoso no cocho período seco (silagem de milho).

*Nível tecnológico: Baixo < 5.000 L/ha.ano; Médio – entre 5000 L e 10000 L/ha.ano e Alto > 10.000 L/ha.ano

4.2 Avaliação do ISA e dos balanços socioeconômico e ambiental.

Após o levantamento nas propriedades, os valores obtidos para o Indicador de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA) são apresentados na Figura 2, juntamente com os resultados dos balanços econômico, social e ambiental. Os valores dos balanços correspondem às médias dos indicadores que compõem as três dimensões. Observa-se que três propriedades apresentaram um ISA superior ou igual a 0,7 (casos 2, 3 e 4), considerado o limiar de sustentabilidade, enquanto três propriedades tiveram índices inferiores a esse limiar (casos 1, 5 e 6).

Ao analisar os subíndices do ISA, verificou-se que o balanço ambiental foi inferior ao limiar de sustentabilidade em todas as propriedades. Por outro lado, todas as propriedades foram sustentáveis do ponto de vista econômico e social, exceto no caso 6. Isso indica uma predominância nas propriedades estudadas de focar mais nos aspectos econômicos e sociais. Esse fenômeno também foi observado por Ripoll-Bosch et al. (2012), que destacam que, em nível local (agricultores e consultores técnicos), há uma maior ênfase nas questões econômicas e sociais em detrimento da sustentabilidade ambiental.

Esforços significativos, como o uso do ISA, visam estudar quais indicadores ambientais utilizar e como avaliá-los, valorizá-los e integrá-los nos quadros de avaliação. Serviços ambientais prestados pelas propriedades, como a conservação da biodiversidade ou a manutenção de paisagens culturais (Piorr, 2003), são difíceis de medir devido às escalas temporais e espaciais envolvidas (Dale & Polasky, 2007). Por essa razão, e apesar de sua importância, esses serviços tendem a ser ignorados em análises de sustentabilidade.

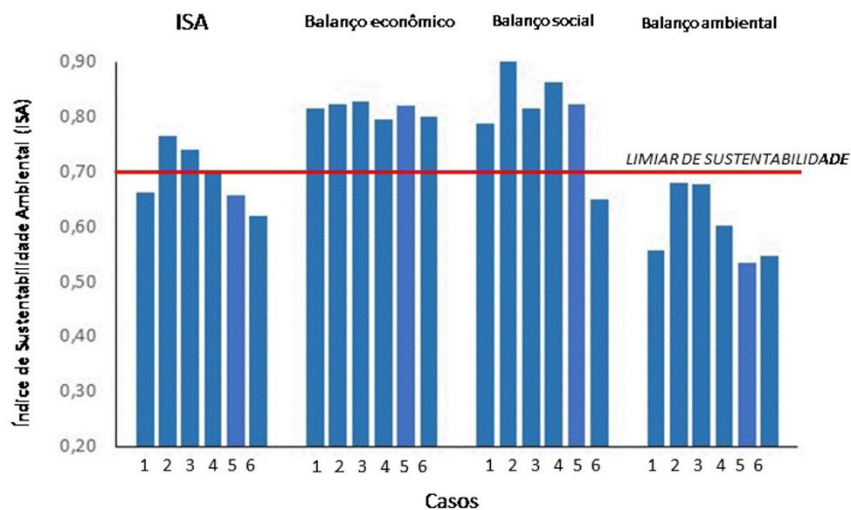


Figura 2 – Valores do ISA e dos balanços econômico, social e ambiental para as 6 propriedades estudadas.

Fonte: Dados da pesquisa.

4.2.1 – Análise dos indicadores socioeconômicos

Os valores dos indicadores relacionados ao balanço socioeconômico para as seis propriedades avaliadas estão apresentados na Figura 3. De modo geral, as propriedades obtiveram bons níveis de sustentabilidade quanto aos parâmetros socioeconômicos. Em relação à Produtividade, o caso 2 obteve o maior índice final com 0,93. Com exceção da propriedade 6, cujo índice

foi de 0,63, todas as demais propriedades apresentaram valores superiores ao limiar de sustentabilidade de 0,7.

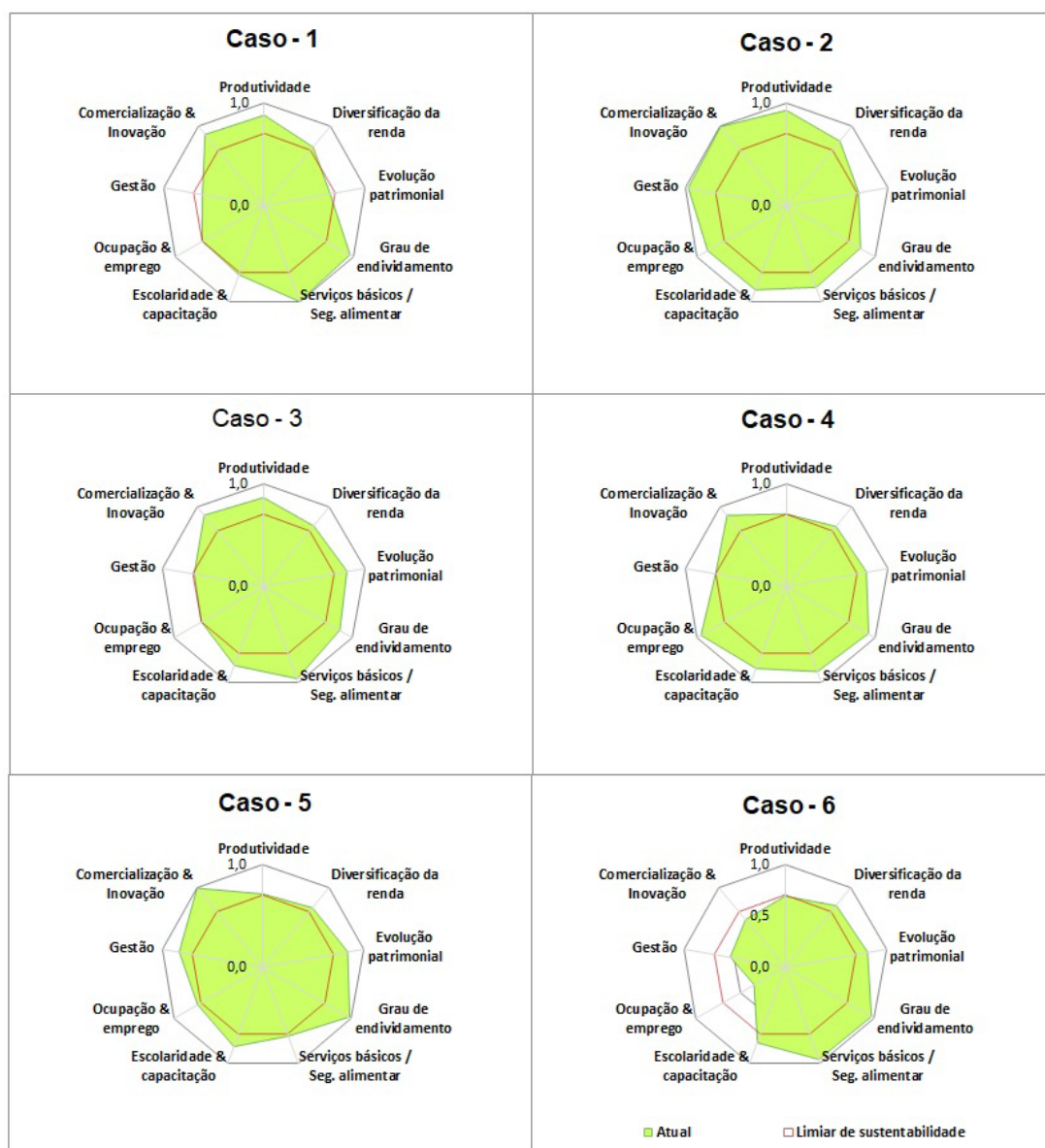


Figura 3 - Apresentação dos 09 indicadores socioeconômicos das 06 propriedades levantadas com a metodologia ISA: Produtividade, Diversificação da renda, Evolução patrimonial, Grau de endividamento, Serviços básicos / Seg. alimentar, Escolaridade e capacitação, Ocupação e emprego, Gestão e Comercialização e Inovação.

A Evolução Patrimonial estima o valor patrimonial do imóvel rural, analisando se houve evolução ou regressão ao longo do tempo. Para isso, considera-se o preço da terra na região durante o período, as benfeitorias, equipamentos e animais existentes e adquiridos, além da ampliação ou diminuição das áreas de produção agrossilvipastoril e de agricultura irrigada. Neste caso, apenas o caso 1 apresentou valor inferior a 0,7, com a menor evolução (24%) no período de 24 meses entre as seis propriedades avaliadas, que evoluíram entre 24% e 244%.

Na Diversificação da Renda, todas as seis propriedades estiveram acima do limiar de 0,7. O caso 1 teve o menor indicador (0,74) e o caso 2 obteve o maior indicador (0,81), mostrando que as propriedades estão diversificando a produção, como no cultivo de café, milho ou agregando valor ao leite com a fabricação de queijos (Tabela 1).

O Grau de Endividamento apresentou a maior média global do balanço econômico, atingindo 0,93. No ISA, o grau de endividamento é calculado considerando o tamanho da dívida em relação ao valor patrimonial. Dos seis casos, o maior indicador foi o caso 1 com 0,98, que também teve o maior índice final de sustentabilidade, enquanto o menor foi o caso 2 com 0,84.

Para o indicador de Ocupação e Emprego, o caso 6 teve um índice final bem inferior aos demais (0,35), devido à existência de um trabalhador sem registro em carteira de trabalho, mesmo que provisoriamente, conforme informado pelo produtor. Quanto ao indicador de Gestão, as propriedades 1 e 6 tiveram índices finais inferiores a 0,7, não atingindo o limiar de sustentabilidade. Ambas possuem pouca ou nenhuma anotação dos gastos e índices da propriedade. Essa situação é recorrente na grande maioria das propriedades da agricultura familiar no Brasil, que não anotam, não fazem custos e não tomam decisões com base em dados (Oliveira & Pereira, 2009). Já para a Comercialização e Inovação, no caso 6, o produtor está em uma região onde não há grupos de comercialização e a venda é feita em volumes pequenos, para compradores de menor estrutura, que pagam valores inferiores aos demais. Esse é o único caso abaixo do limiar de sustentabilidade.

O indicador Serviços Básicos e Segurança Alimentar, que faz parte do Balanço Social, obteve a segunda maior média entre todos os 21 indicadores, atingindo o valor de 0,96, abaixo somente da Evolução Patrimonial. Nesse cenário, o caso 1 obteve nota 1, a maior das seis propriedades avaliadas, além de obter o maior valor entre todos os 21 indicadores. O caso 5 obteve o menor valor no conjunto das seis propriedades, atingindo 0,72.

Na Escolaridade e Capacitação, todas as 06 propriedades estiveram acima do limiar de sustentabilidade 0,7, alcançando média de 0,82, com o máximo de 0,88, no caso 2, e 0,72 no caso 1. Neste caso, encontramos um jovem que por decisão própria não estava frequentando a escola, no momento em regime de ensino à distância, devido a ações preventivas contra a Covid-19.

Finalmente, no último indicador do Balanço Social, a Comercialização e Inovação atingiu a segunda maior média com o valor de 0,88, sendo que o caso 6 foi a única abaixo do limiar, obtendo 0,60. A maior pontuação foi a propriedade caso 2, que atingiu o valor 1 e foi a com maior índice final. Esse produtor agrega valor a sua produção, por meio de um pequeno laticínio, o qual reparte a produção de leite da fazenda com a venda para um laticínio regional.

4.2.2 – Análise do Balanço Ambiental

Os resultados para os indicadores pertencentes ao Balanço Ambiental estão apresentados na Figura 4. O Gerenciamento de Resíduos foi o ponto mais crítico nos seis casos avaliados, encontrando os menores subíndices e a menor média global (0,43), estando todos abaixo do limiar de sustentabilidade. Esses valores variaram de 0,42 (caso 1) a 0,60 (caso 4). Para o indicador de Segurança no Trabalho, a média obtida foi de 0,43, sendo que três propriedades (1, 4 e 6) estavam abaixo do limiar 0,7. Nesse caso, a propriedade 6 apresentou o menor índice (0,12) pois não usava equipamentos de proteção individual (EPI's) para aplicação de agrotóxicos e não possuía um local adequado para armazenamento dos produtos e embalagens vazias para devolução. Os casos 2, 3 e 5 obtiveram o subíndice equivalente a 0,7.



Figura 4 - Apresentação dos 12 indicadores ambientais das 06 propriedades levantadas com a metodologia ISA: Gerenciamento de resíduos, Segurança do trabalho, Fertilidade do solo, Qualidade da água, Risco de contaminação da água, Solos degradados, Práticas de conservação, Estradas, Vegetação nativa, APPs – Áreas de proteção permanente, Reserva Legal, Diversificação da paisagem.

Considerando a Fertilidade do Solo, todas as propriedades ficaram abaixo do limiar de sustentabilidade, com uma média global de 0,5, sendo o caso 1 aquele com o menor subíndice (0,27). No levantamento do ISA, utiliza-se um resultado de análise de solo para esse indicador. Entretanto, muitas propriedades possuem disponível apenas uma análise da pior gleba ou área que, há muitos anos, é utilizada para plantio de silagem em sistema convencional com safra seguida de safrinha de milho e sem cultura de cobertura no inverno. Práticas de Integração Lavoura Pecuária (ILP) têm sido difundidas na região como forma de melhorar a estrutura e fertilidade do solo, bem como mantê-lo coberto durante o inverno.

Para o indicador de Qualidade da Água, a média global foi 0,68. Dois casos (1 e 3) apresentaram subíndices superiores ao limiar de sustentabilidade, com valores de 0,74 e 0,73, respectivamente. Esses resultados indicam uma melhor proteção das áreas de preservação permanente (APP), devido ao cercamento e replantio de essências nativas, conforme previsto no Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012). A não observância da legislação em relação às APPs úmidas, no entorno dos corpos d'água, bem como a falta de proteção das nascentes, estão entre os fatores responsáveis pelas baixas pontuações nas demais propriedades.

Em relação ao indicador de Risco de Contaminação da Água, apenas os casos 2, 3 e 4 atingiram valores superiores ao limiar de sustentabilidade, com valor de 1. Para os demais casos (1, 5 e 6), os valores foram, respectivamente, 0,21; 0,10 e 0,30. Uma limitação do levantamento utilizando a ferramenta ISA é a não avaliação das áreas de arrendamento e das áreas não contíguas à propriedade avaliada, mesmo quando utilizadas para a produção de insumos, como forragem e grãos. Nesse estudo, os casos 1, 3 e 4 possuíam áreas arrendadas para a produção de silagem e milho grão, com a utilização de agrotóxicos, que não foram avaliadas pelo ISA. Assim, potenciais riscos de contaminação da água e do solo nessas áreas não são considerados no levantamento.

Ao observar os valores encontrados para o indicador de Solos Degradados, nota-se que somente o caso 2 obteve valor superior ao limiar (0,76), sendo também a propriedade com o maior índice final de sustentabilidade. A média global dos seis casos foi 0,54, portanto abaixo do limiar de 0,7. A maioria das propriedades na região, bem como as avaliadas no projeto, estão melhorando áreas degradadas para implantar pastagens com o sistema de Integração Lavoura-Pecuária (ILP), utilizando milho e capim para produzir silagem e, posteriormente, usando os piquetes ou a área já com cobertura para produzir milho em sistema de plantio direto nas safras seguintes.

Sobre as Práticas de Conservação, a média global do subíndice foi de 0,79, com todos os casos apresentando valores acima do limiar. Entretanto, os seis casos ainda possuem equipamentos antigos e ultrapassados e não utilizam plantio direto na palha, trabalhando com solo exposto e sem fazer grandes investimentos em conservação de solos.

Para o indicador de Estradas, somente a propriedade 5 obteve valor menor que o limiar (0,54), sendo a média global de 0,67. No geral, nas seis propriedades, não há problemas de acesso e escoamento da produção, embora obras de manutenção, como abaulamento do leito e caixas de contenção de enxurradas com lombadas para desvio de água, ainda sejam escassas.

Em relação à Vegetação Nativa, a média das seis propriedades ficou acima do limiar, alcançando 0,71, embora duas propriedades (4 e 6) tenham obtido valor de 0,67. No geral, as áreas remanescentes nas propriedades estudadas e na região são protegidas pelos produtores e fiscalizadas pelo órgão competente.

O índice de APP foi o que obteve a segunda pior média entre os 21 indicadores, atingindo 0,46 de média global. Todas as seis propriedades obtiveram valores abaixo do limiar, sendo que as piores foram os casos 4 e 6, com subíndices de 0,35. O resultado mostra claramente a falta de informação e consciência dos produtores em atender à legislação federal e estadual, que preconiza o não acesso de animais domésticos às áreas de APP através do cercamento dessas áreas.

O indicador de Reserva Legal demonstrou que todas as seis propriedades já haviam elaborado o Cadastro Ambiental Rural (CAR), que é um cadastro informatizado e georreferenciado da propriedade rural, indicando onde estão as áreas de uso agropecuário consolidado, bem como as nascentes, córregos, matas etc. O CAR é exigido de toda propriedade rural no País pelo código florestal brasileiro (Brasil, 2012). Nesse aspecto todas obtiveram o valor 0,7, atingindo o limiar de sustentabilidade, o que demonstra que a legislação ambiental é atendida no que tange a Reserva Legal e reforça a importância de leis e políticas públicas que determinem aspectos e níveis de sustentabilidade a serem atingidos pelos produtores.

A Diversificação da Paisagem apresentou uma média de 0,63, sendo que apenas os casos 1 e 6 conseguiram obter valores dentro do limiar de sustentabilidade. A propriedade caso 4 obteve o menor subíndice (0,48) e o caso 1 o maior com 0,73, seguida da propriedade caso 6 com 0,7. Observa-se que não há uma preocupação em rotacionar lavouras, fazer culturas de inverno para cobrir e proteger o solo, além ligar áreas de remanescentes de mata de uma propriedade com áreas dos vizinhos buscando formar corredores ecológicos.

4.3 Relações entre a intensificação da produção e os desempenhos ambientais.

Para identificar as relações entre a intensificação da produção e os desempenhos ambientais, foi utilizada a análise de componentes principais. Na Figura 5, observa-se que a primeira dimensão explica 36,7% da variância total dos dados, enquanto a segunda dimensão explica 28,3%. As propriedades foram agrupadas na primeira dimensão com base na produção por área (L/ha.ano) e no nível de tecnologia. Assim, as propriedades 2 e 3, que possuíam maior produção e tecnologia, apresentaram maiores valores de ISA. Em contraste, as propriedades com menor produção e tecnologia (4, 5 e 6) apresentaram menores valores de ISA, indicando uma correlação entre esse indicador e a produtividade (Prod), expressa em L/ha.ano. Isso é especialmente evidente nos casos 2 e 3. Portanto, a intensificação no sistema a pasto melhora a sustentabilidade socioeconômica e ambiental das propriedades.

Bánkuti & Caldas (2018) também observaram maior sustentabilidade em propriedades leiteiras no Paraná que apresentavam maior produtividade. Resultados semelhantes foram encontrados por Tomich et al. (2016), que analisaram sistemas a pasto, confinados e mistos. O aumento da produtividade, quando acompanhado de práticas de conservação de solos e água, como plantio direto na palha, rotação de culturas, integração lavoura-pecuária e curvas de nível, permite a manutenção ou melhoria dos indicadores ambientais (Tomich et al., 2016).

Além disso, a utilização de ferramentas de monitoramento e avaliação, como o ISA, pode favorecer esses resultados. Rodrigues et al. (2018) demonstraram que sistemas agrícolas sustentáveis tendem a ser beneficiados pela adoção de sistemas de gestão ambiental, que servem como ferramentas de apoio à decisão para traçar estratégias de monitoramento e organização dos estabelecimentos rurais. É fundamental que as ferramentas de avaliação da sustentabilidade facilitem ou forneçam indicações claras para o tratamento de conflitos entre as diferentes dimensões e indicadores (Kanter et al., 2018).

Na Figura 5, observa-se que os indicadores ambientais Qualidade da Água (QA), Vegetação Nativa (VN), Área de Proteção Permanente (APP), Segurança do Trabalho (ST) e Solos Degradados (SD) são os mais correlacionados com a produtividade.

Existe uma correlação negativa entre o grau de endividamento e a maioria dos indicadores, incluindo o índice de sustentabilidade e a produtividade. Embora a dívida não seja elevada em todos os casos, na avaliação do ISA, o indicador Grau de Endividamento melhora a partir de uma dívida "zero" até atingir um percentual de 7,5% do valor do patrimônio, decrescendo a partir daí (Ferreira et al., 2012; Deponti et al., 2002). Segundo esses autores, uma dívida contraída para investimentos e custeio da atividade até um montante de 7,5% do valor total do patrimônio indica que a empresa rural está evoluindo tecnicamente.

Houve uma correlação positiva entre a produtividade e as áreas de APP e vegetação nativa. Isso pode indicar que, à medida que os produtores atingem melhores produtividades, eles passam a ter maior preocupação ambiental e a cumprir a legislação vigente, isolando áreas de preservação permanente (APP) e restringindo o acesso de animais domésticos a essas áreas com cercamento, facilitando assim a regeneração natural. O licenciamento ambiental ou a dispensa deste, além

da outorga de uso da água ou dispensa por uso insignificante, bem como o Cadastro Ambiental Rural (CAR), são exigidos nas operações de crédito rural, sendo, portanto, necessários para viabilizá-las. De fato, observa-se que, após resolverem as questões econômicas, os produtores começam a se dedicar a resolver os problemas ambientais e a atender a legislação vigente.

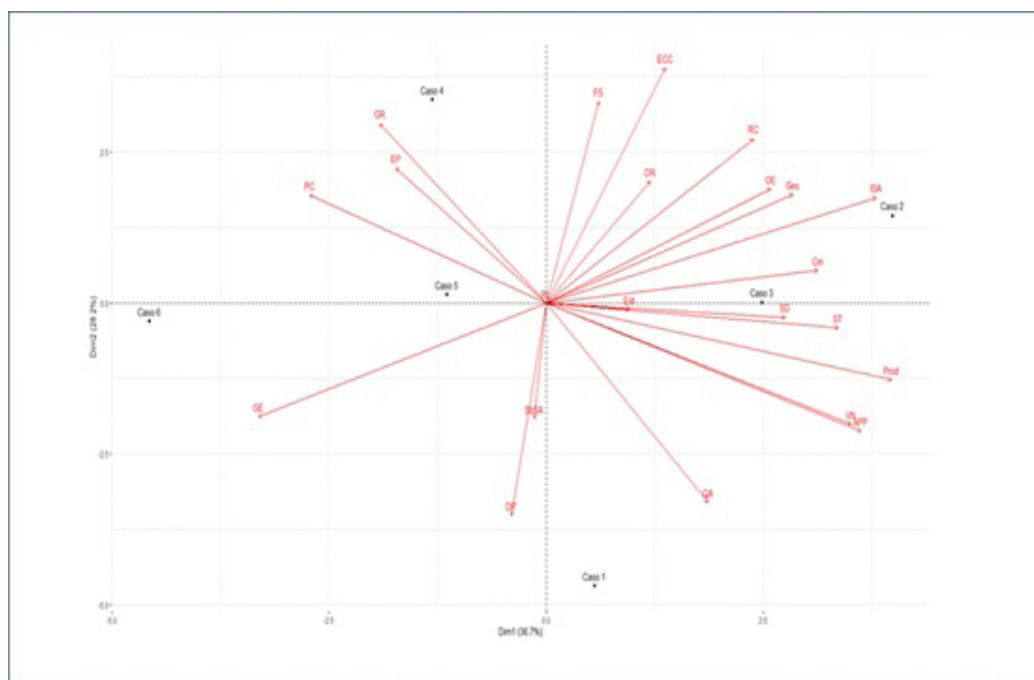


Figura 5: Gráfico biplot da Análise de Componentes Principais com dados dos indicadores. Legenda: AAPP – área de preservação permanente, ISA – indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas, Prod – produtividade, ECC – escolaridade e cursos de capacitação, VN- vegetação nativa, GE- grau de endividamento, QA- qualidade da água, RC- risco de contaminação, DP – diversificação da paisagem, GR- gerenciamento de resíduos, FS- fertilidade dos solos, ST- segurança no trabalho, Ges – gestão, PC- práticas de conservação, GE- grau de endividamento, Cin – comercialização e inovação, EP – evolução patrimonial, SD- solos degradados, DR- diversificação da renda, SbSa- serviços básicos e segurança alimentar, Est – Estradas e RL – reserva legal. Fonte: Dados da pesquisa.

5. Conclusões

Este trabalho teve como objetivo avaliar os impactos socioeconômicos e ambientais da produção leiteira utilizando o Indicador de Sustentabilidade em Agroecossistemas (ISA) e identificar as relações entre a intensificação da produção e os desempenhos ambientais. Entre as propriedades estudadas, três apresentaram ISA igual ou superior a 0,7, considerado o limiar de sustentabilidade, enquanto três ficaram abaixo desse valor.

Ao desagregar o ISA, observou-se que o balanço ambiental foi inferior ao limiar de sustentabilidade em todas as propriedades. Em contrapartida, as propriedades foram sustentáveis do ponto de vista econômico e social, exceto uma. Isso indica que os produtores dão mais atenção aos aspectos econômicos e sociais do que à sustentabilidade ambiental. Embora seja mais difícil avaliar alguns aspectos ambientais, os indicadores do ISA permitiram uma avaliação integrada desses aspectos, além dos econômicos e sociais. Isso proporciona uma visão global do sistema da propriedade, apontando fragilidades que podem ser tratadas através de um plano de adequação socioeconômica e ambiental, e potencialidades que podem ser alavancadas pelo empreendedor.

Também foi observada uma correlação positiva entre a intensificação da produção, medida em L.ha/ano, e os desempenhos ambientais, econômicos e sociais nas propriedades estudadas. Esse resultado demonstra que o aumento da produtividade, quando acompanhado de práticas ambientalmente corretas, pode manter ou melhorar os indicadores ambientais.

É difícil extrapolar os resultados de fazendas individuais para sistemas agrícolas mais amplos, pois é necessário considerar muitas outras variáveis, incluindo tamanho e estrutura da fazenda, localização, atividades fora da fazenda, habilidades de manejo e os objetivos do agricultor. No entanto, os resultados deste trabalho contribuem para a discussão sobre a relação entre aumento de produtividade e preservação ambiental, indicando caminhos para auxiliar produtores rurais e gestores de políticas públicas a atingirem essa meta.

Contribuições dos autores

MRM: Levantamento e análise dos dados, revisão bibliográfica, análise e escrita dos resultados. EGS: planejamento da pesquisa, discussão dos resultados e elaboração do manuscrito final. JMSL: definição dos métodos, análise dos dados e elaboração dos resultados. MLR: planejamento da pesquisa, discussão dos resultados e elaboração do manuscrito final.

Suporte financeiro:

Nada a declarar.

Conflitos de interesses:

Nada a declarar.

Aprovação do conselho de ética:

Não se aplica.

Disponibilidade de dados:

Os dados da pesquisa estão disponíveis sob consulta.

*** Autor correspondente:**

Marcelo Lacerda Rezende. marcelo.rezende@unifal-mg.edu.br

6. Referências

- Almeida, M., & Bacha, C. J. C. (2021). Literatura sobre eficiência na produção leiteira brasileira. *Revista de Política Agrícola*, 30(1), 20-33. Recuperado em 15 de março de 2023, de <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1575>
- Bánkuti, F. I., & Caldas, M. M. (2018). Geographical milk redistribution in Paraná State, Brazil: consequences of institutional and market changes. *Journal of Rural Studies*, 64, 63-72. <http://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.10.004>

- Bava, L., Sandrucci, A., Zucali, M., Guerci, M., & Tamburini, A. (2014). How can farming intensification affect the environmental impact of milk production? *Journal of Dairy Science*, *97*(7), 4579-4593. <http://doi.org/10.3168/jds.2013-7530>
- Benoit, M., & Laignel, G. (2010). Energy consumption in mixed crop-sheep farming systems: what factors of variation and how to decrease? *Animal*, *4*(9), 1597-1605. <http://doi.org/10.1017/S1751731110000480>
- Berre, D., Blancard, S., Boussemart, J. P., Leleu, H., & Tillard, E. (2014). Finding the right compromise between productivity and environmental efficiency on high input tropical dairy farms: a case study. *Journal of Environmental Management*, *146*, 235-244. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.008>
- Brasil. (2012). Lei nº 12.727, de 17 de outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília. Recuperado em 15 de março de 2023, de <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2012/lei-12727-17-outubro-2012-774405-veto-137900-pl.html#:~:text=Alterar%20a%20Lei%20n%C2%BA%2012.651,abril%20de%201989%2C%20a%20Medida>
- Brasil. Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA. (2019). *Projeções do Agronegócio: Brasil 2018/19 a 2028/29, projeções de longo prazo*. Recuperado em 15 de março de 2023, de <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/projecoes-do-agronegocio-2018-2019-2028-2029/view>
- Chobtang, J., Ledgard, S. F., McLaren, S. J., & Donaghy, D. J. (2017). Life cycle environmental impacts of high and low intensification pasture-based milk production systems: a case study of the Waikato region, New Zealand. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 664-674. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.079>
- Clay, N., Garnett, T., & Lorimer, J. (2020). Dairy intensification: drivers, impacts and alternatives. *Ambio*, *49*(1), 35-48. <http://doi.org/10.1007/s13280-019-01177-y>
- Costa, J. L. (2005). Indicadores técnicos de eficiência e renda na propriedade leiteira. *Economia Aplicada*, *(5)*, 1-10.
- Dale, V. H., & Polasky, S. (2007). Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. *Ecological Economics*, *64*(2), 286-296. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.05.009>
- Deponti, C. M., Eckert, C., & Azambuja, J. L. B. (2002). Estratégia para construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, *3*(4), 44-52.
- Diazabakana, A., Latruffe, L., Bockstaller, C., Desjeux, Y., Finn, J., Kelly, E., Ryan, M., & Uthes, S. (2014). *A review of farm level indicators of sustainability with a focus on cap and fadn about the FLINT Project: FLINT Farm Level Indicators for New Topics in Policy Evaluation*. Brussels: European Commission.
- Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks: the Triple Bottom Line of 21st Century Business*. Oxford: Capstone.
- Ferreira, J. M. L., Viana, J. H. M., Costa, A. M., de Sousa, D. V., & Fontes, A. A. (2012). Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas (ISA) - Resíduos Sólidos. *Informe Agropecuário (Belo Horizonte)*, *33*(271), 12-25.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2018). *World livestock: transforming the livestock sector through the sustainable development goals*. Rome: FAO. <http://doi.org/10.4060/ca1201en>

- Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO. (2021). *Dairy market review*. Rome: FAO. Recuperado em 15 de março de 2023, de <http://www.fao.org/3/cb4230en/cb4230en.pdf>
- Gabrielli, J. R. M., Santoyo, A. H., Martins, M. R., & Rezende, M. L. (2023). Avaliação da sustentabilidade socioeconômica e ambiental em propriedades rurais de Minas Gerais a partir do método ISA. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 61(4), e260860. <http://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.260860>
- Gazola, M. G., Bánkuti, F. I., De Brito, M. M., Prizon, R. C., Kuwahara, K. C., Dos Santos Pozza, M. S., & Damasceno, J. C. (2018). Development and application of a sustainability assessment model for dairy production systems. *Semina: Ciências Agrárias*, 39(6), 2685-2702. <http://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n6p2685>
- Gomes, S. T. (2005). *Diagnóstico da pecuária leiteira do estado de Minas Gerais em 2005: relatório de pesquisa* (156 p.). Belo Horizonte: Federação da Agricultura do Estado de Minas Gerais.
- Gonzalez-Mejia, A., Styles, D., Wilson, P., & Gibbons, J. (2018). Metrics and methods for characterizing dairy farm intensification using farm survey data. *PLoS One*, 13(5), 1-18. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0195286>
- Jan, P., Repar, N., Nemecek, T., & Dux, D. (2019). Production intensity in dairy farming and its relationship with farm environmental performance: Empirical evidence from the Swiss alpine area. *Livestock Science*, 224, 10-19. <http://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.03.019>
- Kanter, D. R., Musumba, M., Wood, S. L. R., Palm, C., Antle, J., Balvanera, P., Dale, V. H., Havlik, P., Kline, K. L., Scholes, R. J., Thornton, P., Titttonell, P., & Andelman, S. (2018). Evaluating agricultural trade-offs in the age of sustainable development. *Agricultural Systems*, 163, 73-88. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.09.010>
- Ma, W., Bicknell, K., & Renwick, A. (2020). Production intensification and animal health expenditure on dairy farms in New Zealand. *Journal of Dairy Science*, 103(2), 1598-1607. <http://doi.org/10.3168/jds.2018-16039>
- Malhotra, N. K. (2006). *Pesquisa de Marketing: uma orientação aplicada*. Porto Alegre: Bookman.
- Martins, M. R., Santoyo, A. H., Salgado, E. G., & Rezende, M. L. (2023). Production systems and environmental and socioeconomic sustainability: comparison between dairy farms in Minas Gerais. *RGSA*, 17(9), 1. <http://doi.org/10.24857/rgsa.v17n9-018>
- Minas Gerais. Governo do Estado. (2012). Decreto nº 46.113, de 19 de dezembro de 2012. *Diário Oficial do Estado*. Recuperado em 15 de março de 2023, de <https://www.almg.gov.br/legislacao-mineira/DEC/46113/2012/>
- Oliveira, A. S., & Pereira, D. H. (2009). Gestão econômica de sistemas de produção de bovinos leiteiros. In *Anais do I Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável* (pp. 106-133). Viçosa: Embrapa.
- Piorr, H. P. (2003). Environmental policy, agri-environmental indicators and landscape indicators. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 98(1-3), 17-33. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00069-0](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00069-0)
- Ripoll-Bosch, R., Díez-Unquera, B., Ruiz, R., Villalba, D., Molina, E., Joy, M., Olaizola, A., & Bernués, A. (2012). An integrated sustainability assessment of mediterranean sheep farms with different degrees of intensification. *Agricultural Systems*, 105(1), 46-56. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.10.003>
- Rocha, D. T., Carvalho, G. R., & Resende, J. C. (2020). *Cadeia produtiva do leite no Brasil : produção primária* (Circular Técnica, No. 123). Embrapa. Recuperado em 15 de março de 2023, de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/215880/1/CT-123.pdf>

- Rodrigues, G. S., Martins, C. R., & Barros, I. (2018). Sustainability assessment of ecological intensification practices in coconut production. *Agricultural Systems*, 165, 71-84. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.001>
- Ryan, M., Hennessy, T., Buckley, C., Dillon, E. J., Donnellan, T., Hanrahan, K., & Moran, B. (2016). Developing farm-level sustainability indicators for Ireland using the Teagasc National Farm Survey. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 55(2), 112-125. <http://doi.org/10.1515/ijafr-2016-0011>
- Silva, C. S. S., & Bragagnolo, C. (2018). Eficiência técnica e ambiental da pecuária leiteira na região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. *Revista de Economia e Agronegócio*, 16(2), 242-261. <http://doi.org/10.25070/rea.v16i2.593>
- Slätmo, E., Fischer, K., & Rööös, E. (2017). The framing of sustainability in sustainability assessment frameworks for agriculture. *Sociologia Ruralis*, 57(3), 378-395. <http://doi.org/10.1111/soru.12156>
- Soteriades, A. D., Stott, A. W., Moreau, S., Charroin, T., Blanchard, M., Liu, J., & Faverdin, P. (2016). The relationship of dairy farm eco-efficiency with intensification and self-sufficiency: evidence from the French dairy sector using life cycle analysis, data envelopment analysis and partial least squares structural equation modelling. *PLoS One*, 11(11), 1-21. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0166445>
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. Rome: FAO. Recuperado em 15 de março de 2023, de <https://www.fao.org/3/a0701e/a0701e00.htm>
- Tomich, T. R., Pereira, L. G. R., & Paiva, C. A. V. (2016) Avanços tecnológicos para a redução do impacto da pecuária no meio ambiente. In D. Vilela (Ed.), *Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos* (pp. 383-400). Brasília: Embrapa.
- World Commission on Environment and Development – WCED. (1987). *Report of the world commission on environment and development: our common future*. Geneva: United Nation.

Data de submissão: Março 15, 2023.

Data de aceite: Outubro 28, 2024.

Classificação JEL: Q56

Editor associado: Rodrigo Constante Martins