

CAPÍTULO 8

Sistemas agroflorestais como estratégia mitigadora: benefícios na atenuação do estresse térmico em bovinos

Jhonnatas Mariano Gonçalves, Aparecida de Fátima Madella de Oliveira, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-22-0.c8>

Resumo

O desafio apresentado pelo estresse térmico na pecuária tropical é considerável, dada a prevalência de elevadas temperaturas e umidade nessas regiões, o que impacta adversamente a saúde e a produtividade dos bovinos. Este levantamento bibliográfico analisa os benefícios dos sistemas agroflorestais (SAFs) como uma abordagem inovadora e eficaz para mitigar os efeitos prejudiciais do estresse térmico em bovinos. Serão abordadas as interações complexas entre árvores, pastagens e gado, destacando como esses sistemas oferecem soluções sustentáveis para lidar com os desafios decorrentes das mudanças climáticas. A pesquisa proporciona uma análise dos mecanismos de mitigação e dos benefícios práticos para a saúde e a produtividade dos bovinos. Quando executados adequadamente, os sistemas integrados, incluindo o componente arbóreo (agrossilvipastoris e silvipastoris), surgem como alternativas viáveis do ponto de vista técnico, ambiental e socioeconômico em comparação com os modelos tradicionais de produção pecuária. Esses sistemas não apenas aprimoram a capacidade produtiva da terra, mas também aperfeiçoam a utilização dos recursos naturais disponíveis, resultando em uma maior produção por unidade de área. Além disso, esses sistemas são considerados termicamente confortáveis e, com o manejo apropriado, promovem melhorias diretas e, ou, indiretas de ordem zootécnica e ambiental, contribuindo para o bem-estar animal e o conforto térmico.

Palavras-chave: Termorregulação. Sistemas Agroflorestais. Bem-estar.

1. Introdução

As mudanças climáticas globais emergem como um fenômeno complexo, influenciado por diversas variações climáticas. O aumento da temperatura média global, a variabilidade climática e os eventos extremos têm implicações diretas na produção agropecuária, com atenção particular voltada para o impacto sobre o bem-estar e desempenho dos bovinos (RIPPLE et al, 2017; SUŠA, 2019).

O Brasil abriga o maior número de gado comercial do mundo, ultrapassando os 234 milhões de cabeças. Isso se destaca não apenas pela dimensão do rebanho, mas também pelo seu potencial específico de expansão (IBGE, 2023). No entanto, para manter esse crescimento, os produtores precisam atentar para diversos elementos a fim de preservar o bem estar dos animais bem como a saúde e o bom funcionamento da atividade pecuária.

Aspectos como disponibilidade de água, áreas sombreadas, temperatura corporal dos animais e seus comportamentos em condições térmicas específicas desempenham papel crucial. Eles impactaram diretamente as trocas térmicas, incluindo o calor sensível (condução, convecção teórica e radiação) e as perdas de calor latente (evaporação aparente) para o ambiente. Se esses fatores não forem devidamente equilibrados entre o animal e seu entorno, podem resultar em estresse térmico, acarretando sérios problemas tanto na produção quanto na reprodução dos animais.

O estresse térmico em bovinos ocorre quando os animais não dissipam o calor corporal de maneira eficiente em condições ambientais desfavoráveis. As mudanças climáticas têm intensificado esse aspecto, resultando em aumento da temperatura, redução da umidade relativa e alterações nos padrões climáticos sazonais (DOMICIANO et al., 2016).

Impactando diretamente os animais, o estresse térmico altera a fisiologia dos bovinos, afetando a homeostase térmica¹⁶. A exposição prolongada a altas temperaturas prejudica a eficácia do sistema de resfriamento, causando

¹⁶ Refere-se à capacidade de um organismo em manter uma temperatura interna relativamente constante, apesar das variações nas condições ambientais. Trata-se de um processo vital para a sobrevivência e o funcionamento adequado dos organismos, posto que muitas atividades metabólicas e processos fisiológicos são sensíveis à temperatura.

hipertermia, alterações na produção de leite e redução na taxa de crescimento (GIRO et al., 2019).

As consequências do estresse térmico incluem queda na produção de leite, redução na taxa reprodutiva e aumento na incidência de doenças. Bovinos em ambientes com altas temperaturas também manifestam comportamentos de busca por sombra, redução do tempo dedicado à alimentação e ao descanso (POLSKY; VON KEYSERLINGK, 2017).

Para atenuar os efeitos adversos do estresse térmico é imperativo adotar estratégias. Elas incluem a execução de sistemas de sombreamento artificial ou natural (como os sistemas silvipastoris), melhorias na ventilação dos estábulos, ajustes nas dietas nutricionais para promover a resistência térmica e a utilização de tecnologias de resfriamento, como nebulizadores e aspersores (NAVARINI et al., 2015).

Sistemas silvipastoris são sistemas integrados que combinam práticas agropecuárias, especialmente a criação de animais, com o cultivo de árvores ou arbustos em uma mesma área (COSTA et al., 2002; FERNÁNDEZ et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2003; PACIULLO et al., 2009; MURGUEITIO et al., 2012; NASCIMENTO; SOUZA, 2022). Esses sistemas são projetados para promover interações positivas entre as árvores, os pastos e os animais, visando benefícios econômicos, ambientais e sociais.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise técnica do estresse térmico em bovinos, considerando o contexto das mudanças climáticas. O foco será dado aos benefícios específicos para bovinos de leite e corte em sistemas silvipastoris.

2. Estresse térmico em bovinos

O estresse térmico em bovinos se refere a uma condição na qual os animais experimentam desconforto devido a condições ambientais extremas de temperatura. Os bovinos são sensíveis às variações térmicas e podem sofrer estresse quando expostos a temperaturas muito altas ou muito baixas, especialmente quando essas condições persistem por períodos prolongados.

Dessa forma, o estresse térmico em bovinos é uma preocupação crescente, impulsionada pelas mudanças climáticas globais e pelas condições climáticas extremas. Esta análise visa oferecer uma compreensão detalhada dos efeitos do estresse térmico nesses animais, abrangendo suas implicações fisiológicas, comportamentais e produtivas (BAUMGARD; RHOADS, 2011). A sensibilidade dos bovinos às variações climáticas torna essencial uma abordagem holística para minimizar os impactos negativos associados a esse aspecto (Figura 1).

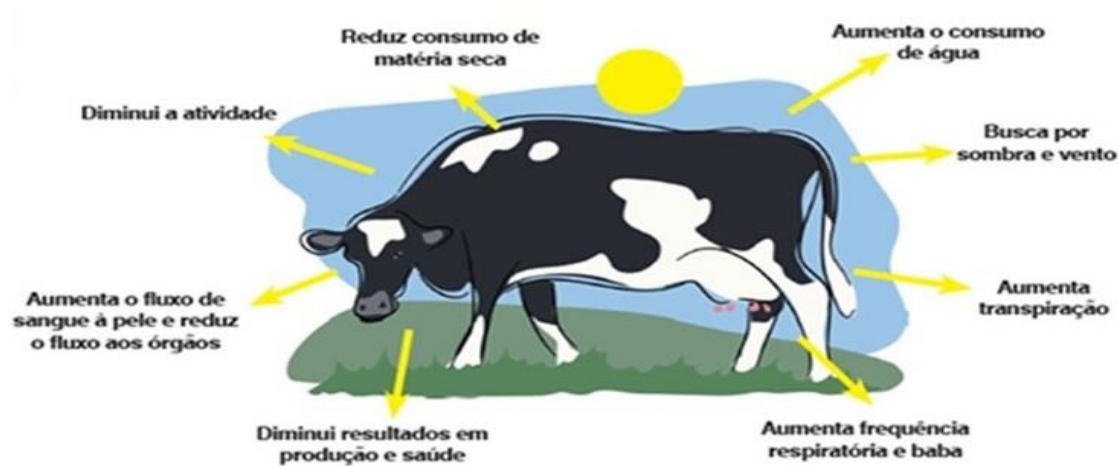


Figura 1. Efeitos do estresse térmico. Fonte: Carvalho, 2010.

2.1. Implicações fisiológicas

O estresse térmico em bovinos desencadeia uma série de respostas fisiológicas adversárias. A exposição prolongada a altas temperaturas resulta em hipertermia, comprometendo a capacidade dos animais de regular sua temperatura corporal (DALCIN, 2016). Isso, por sua vez, leva a um aumento na frequência respiratória, sudorese excessiva e uma diminuição na ingestão de alimentos. A resposta hormonal, incluindo a liberação de cortisol, também é afetada, influenciando as qualidades da homeostase do organismo (FERREIRA et al., 2009).

2.2. Implicações comportamentais

O comportamento dos bovinos é fortemente afetado pelo estresse térmico. Animais submetidos a altas temperaturas frequentemente buscam sombra e

proteção contra a atividade física. Observa-se uma mudança no padrão de alimentação, com períodos de pastejo reduzidos devido à busca por locais mais frescos e à redução da apetência alimentar (CARVALHO et al., 1995, DALCIN, 2016). Além disso, o estresse térmico pode aumentar a agressividade entre os animais, impactando qualidades o bem-estar geral do rebanho (Figura 2).



Figura 2. Pastagem degradada e com pouco sombreamento: animais sob condição de estresse térmico. Fonte: Acervo Maurício Novaes, 2022.

2.3. Implicações produtivas

O estresse térmico tem consequências diretas na produtividade dos bovinos. A redução na ingestão de alimentos leva a uma diminuição na taxa de ganho de peso e na eficiência alimentar (NAVARINI. et al 2015). Além disso, a produção de leite é adversamente afetada, resultando em quedas significativas na produção de leite e na qualidade do produto. A taxa reprodutiva também pode estar comprometida, com uma diminuição na taxa de concepção e aumento no número de ciclos estrais anovulatórios.

2.4. Sensibilidades às variações climáticas

Os bovinos são particularmente sensíveis às variações climáticas, especialmente quando expostos a temperaturas elevadas e umidade excessiva

(LIMA et al, 2019). A combinação desses fatores cria condições propícias para o desenvolvimento do estresse térmico, especialmente em regiões geográficas suscetíveis a ondas de calor.

2.5. Consequências negativas associadas

As consequências negativas do estresse térmico não se limitam apenas aos aspectos individuais dos bovinos, mas também afetam a produção pecuária como um todo. A diminuição na produção de carne e leite, juntamente com a redução na taxa reprodutiva, resulta em perdas econômicas substanciais para os produtores alimentar (NAVARINI et al, 2015).

A compreensão aprofundada dos efeitos do estresse térmico em bovinos é crucial para executar estratégias de manejo. A minimização do estresse térmico requer a adoção de práticas sustentáveis, como o fornecimento de sombra adequada, manejo eficiente de pastagens e seleção de raças mais resistentes ao calor. Essas medidas não apenas melhoram o bem-estar dos bovinos, mas também preservam a sustentabilidade e a rentabilidade da produção pecuária (Figura 3).



Figura 3. Animais pastejando em condições de sombreamento: melhoria das condições de bem-estar. Fonte: SIPA¹⁷, 2023.

¹⁷ Sistema Integrado de Produção Animal.

3. Fundamentos dos sistemas agroflorestais (SAFs)

Existem diversos tipos de Sistemas Agroflorestais (SAFs), cada um adaptado a diferentes condições climáticas, tipos de solo, objetivos de produção e necessidades específicas dos agricultores. A seguir, são apresentados alguns dos principais tipos de SAFs mais utilizados na pecuária (NAIR, 1989; 2006):

✓ **Agrossilvipastoris:**

- Combinação de práticas agrícolas, cultivo de árvores e criação de animais.
- Sinergia entre atividades agrícolas, silvicultura e pecuária.

✓ **Silvipastoris:**

- Ênfase na integração de árvores e pastagens para benefícios na pecuária.
- Fornecimento de sombra para o gado e melhoria da qualidade da pastagem.

✓ **Silvopastoris:**

- Similar ao silvipastoril, mas com maior ênfase na produção de madeira ou produtos florestais.

Os Sistemas Agrossilvipastoris (SASPs) representam uma forma avançada de integração entre agricultura, silvicultura e pecuária em um único sistema produtivo (COSTA, 2016). Essa abordagem visa aperfeiçoar a utilização do espaço e dos recursos, promovendo interações positivas entre as diferentes atividades, envolvendo comumente o cultivo de culturas agrícolas, o plantio de árvores e a criação de animais (NASCIMENTO; SOUZA, 2022).

O plantio de árvores pode ser orientado para a produção de madeira, celulose ou outros recursos florestais. Uma abordagem estratégica na disposição das árvores pode proporcionar sombra, proteção contra ventos e, simultaneamente, contribuir para a ciclagem de nutrientes (CORDEIRO et al., 2017).

A integração da criação de animais, como bovinos, ovinos ou aves, em áreas combinando pastagens e sombreamento fornecido pelas árvores é uma prática vantajosa. Recomenda-se a seleção de árvores que facilitem uma ciclagem eficiente de nutrientes, melhorando a fertilidade do solo e reduzindo a dependência de insumos externos.

A presença de árvores desempenha um papel significativo na mitigação das mudanças climáticas, absorvendo o carbono atmosférico e armazenando-o na biomassa e no solo. A escolha das culturas agrícolas, árvores e espécies animais devem ser guiadas pelas condições locais, características do solo e pelos objetivos específicos do produtor (MAPA, 2012b; MIGUEL LENZ et al., 2019).

O planejamento espacial do sistema, incluindo a distribuição de árvores e pastagens, desempenha um papel crucial na melhoria da eficiência produtiva e nos benefícios ambientais. A eficiência entre as diversas atividades requer práticas de manejo cuidadosas para evitar competição indesejada entre os componentes (FRANKE; FURTADO, 2001). A realização de pesquisas contínuas é essencial para avaliar o desempenho econômico, social e ambiental dos Sistemas Agroflorestais (SAFs) em diferentes contextos (Figura 4).

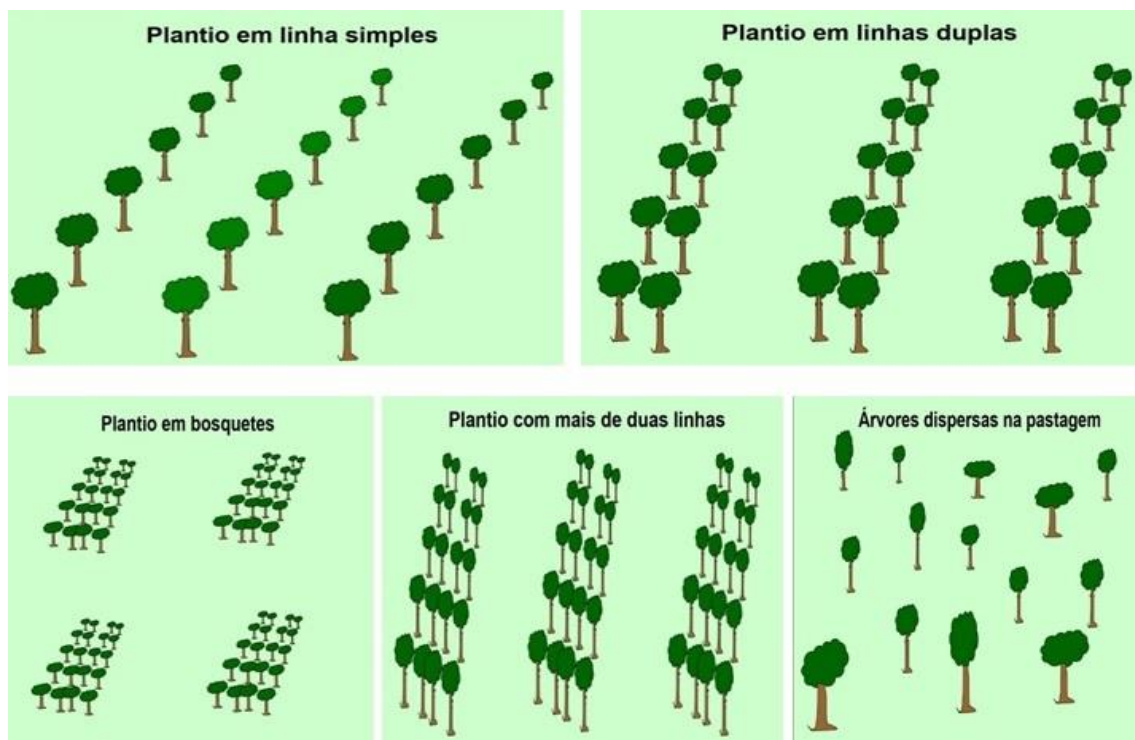


Figura 4. Diferentes tipos de arranjos de SAF. Fonte: Embrapa, 2020.

Os sistemas silvipastoris emergem como uma estratégia eficaz para a gestão sustentável da terra, integrando árvores, pastagens e gado. A classificação desses sistemas com base em suas características e objetivos destaca suas especificidades e a capacidade de promover benefícios multifacetados em termos econômicos, ambientais e sociais (tais como o fornecimento de sombra para o gado e a melhoria da qualidade da pastagem). O avanço na pesquisa e nas práticas de manejo será essencial para aprimorar a eficiência e a resiliência desses sistemas diante dos desafios globais.

4. Mecanismos de mitigação no ambiente agroflorestal

A introdução de SAFs representa uma estratégia inovadora e eficaz na mitigação do estresse térmico em bovinos. Neste contexto, a análise dos mecanismos pelos quais os SAFs atuam se torna crucial para compreender como esses sistemas oferecem um ambiente mais ameno para o gado, promovendo seu bem-estar e desempenho produtivo. Esta abordagem examinará os principais mecanismos de mitigação, incluindo a sombra fornecida pelas árvores, a redução da radiação solar direta, a melhoria da qualidade do ar e a regulação térmica do solo. (CARVALHO; BOTREL, 2002).

Uma característica proeminente dos SAFs é a presença de árvores que oferecem sombra para os bovinos (Figura 5).



Figura 5. SAF instalado em Jerônimo Monteiro. Fonte: Acervo Jhonnatas Mariano Gonçalves, 2023.

Este mecanismo tem um impacto na redução da exposição direta ao sol, aliviando o estresse térmico ao fornecer áreas sombreadas onde os bovinos podem ser abrigados durante períodos de calor intenso. O sombreamento também contribui para a moderação da temperatura ambiente, criando microclimas mais confortáveis para os rebanhos (OLIVEIRA, 2012). As árvores em SAFs desempenham um papel crucial na redução da radiação solar direta sobre as pastagens (Figura 6).



Figura 6. Árvores utilizadas como sombra e quebra vento. Fonte: Acervo Jhonnatas Mariano Gonçalves, 2023.

Esse mecanismo atua como uma barreira natural, impedindo a incidência intensa dos raios solares no solo. A sombra proporcionada pelas copas das árvores cria áreas com temperaturas mais amenas, mitigando os impactos do calor sobre os bovinos e reduzindo os efeitos adversos do estresse térmico (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2004).

A presença de cultivos em SAFs contribui para aprimorar a qualidade do ar no ambiente. As árvores desempenham um papel crucial na filtragem de impurezas atmosféricas, resultando em um ar mais limpo e saudável para os bovinos. A diminuição da concentração de poeira e partículas em suspensão beneficia a saúde respiratória dos animais, especialmente durante períodos de estresse térmico (PEZARICO et al., 2013).

As árvores em SAFs exercem influência significativa na regulação térmica do solo. Suas copas oferecem uma cobertura que limita a exposição direta do solo à luz solar, evitando o superaquecimento. Além disso, as raízes das árvores

desempenham um papel vital na preservação da umidade do solo, criando condições mais frescas e confortáveis para os bovinos (PEZARICO et al., 2013). Essa regulação térmica beneficia não apenas os animais, mas também promove a saúde e fertilidade do solo.

A ausência de árvores em pastagens desempenha um papel crucial no aumento do estresse térmico em bovinos (Figura 7). As árvores fornecem sombra, essencial para proteger os animais da radiação solar direta e manter a temperatura corporal dentro de limites aceitáveis (SOUZA, 2021). Esse aspecto pode ser aperfeiçoado, especialmente diante da degradação acelerada das áreas de pastagem.



Figura 7. Área de pastagem degradada com ausência de árvores em áreas de pastagem. Fonte: Acervo Jhonnatas Mariano Gonçalves, 2023.

Em síntese, os mecanismos de mitigação no ambiente agroflorestal desempenham um papel vital na promoção do conforto e bem-estar dos bovinos, especialmente diante do desafio do estresse térmico. A integração de árvores em SAFs representa uma abordagem sustentável e eficaz para criar ambientes mais projetados, contribuindo para a resiliência do gado e para o aperfeiçoamento da produção pecuária em condições climáticas desafiadoras.

5. Benefícios para a saúde e bem-estar dos bovinos

A instalação de SAFs tem revelado resultados positivos na promoção da saúde e bem-estar dos bovinos, destacando-se como uma abordagem

promissora para criar ambientes propícios ao gado. Vários estudos, como os de Costa et al. (2002), Fernández et al. (2002), Oliveira et al. (2003), Paciullo et al. (2011) e Murgueitio et al. (2012), examinaram os benefícios observados nos bovinos em SAFs, com foco na redução do risco de hipertermia, minimização do estresse comportamental e efeitos positivos na produção de leite e carne.

A presença estratégica de árvores em SAFs oferece uma sombra eficaz, desempenhando um papel significativo na redução do risco de estresse térmico em bovinos e promovendo o bem-estar animal. Durante períodos de calor intenso, a sombra proporciona aos animais uma área de resfriamento, permitindo que evitem a exposição direta ao sol (SILVA et al., 2023). Essa proteção térmica é crucial para evitar o aumento da temperatura corporal, reduzindo consideravelmente a incidência de hipertermia e seus efeitos adversos na saúde dos bovinos (Figura 8).



Figuras 8. Sombreamento *versus* conforto animal. Fonte: Embrapa, 2020. Foto: Margarida Carvalho.

O ambiente agroflorestal proporciona condições que minimizam o estresse comportamental em bovinos. A presença de árvores não apenas oferece sombra, mas também cria ambientes mais calmos e confortáveis. Bovinos em SAFs frequentemente exibem comportamentos mais naturais, com menor incidência de comportamentos agressivos associados ao estresse. Essa atmosfera mais tranquila contribui para um ambiente geral de bem-estar e contentamento entre os animais (CASTRO et al., 2008; EPIFÂNIO; SANTOS, 2006; LEME et al., 2005; SANTOS et al., 2004).

Os benefícios para a saúde e bem-estar dos bovinos em SAFs refletem diretamente na produção de leite e carne. A redução do estresse térmico, aliada

à melhoria do ambiente e do comportamento dos animais, tem efeitos positivos na eficiência reprodutiva e no desempenho produtivo. Observa-se um aumento na produção de leite, com qualidade melhorada, e uma melhoria na taxa de ganho de peso em bovinos destinados à produção de carne (ALVES et al., 2017). A atmosfera menos estressante nos SAFs também está associada a uma diminuição nas taxas de mortalidade e morbidade, contribuindo para uma produção mais sustentável e saudável.

Em SAFs os bovinos têm a oportunidade de expressar comportamentos naturais, como pastejo e descanso, de maneira mais livre. A presença de áreas sombreadas e a interação com elementos florestais oferecem estímulos ambientais variados, promovendo comportamentos naturais e saudáveis nos animais. Essa promoção de comportamentos naturais está intrinsicamente ligada ao bem-estar físico e mental dos bovinos (ALVES, 2017).

Os SAFs têm se destacado como uma estratégia avançada para promover a saúde e o bem-estar dos bovinos. Os resultados positivos, que incluem a redução do risco de hipertermia, minimização do estresse comportamental e impactos benéficos na produção de leite e carne, evidenciam a eficácia dessa abordagem na criação de ambientes peculiares mais sustentáveis, saudáveis e éticos. O equilíbrio proporcionado pelos SAFs ressoa não apenas na saúde dos animais, mas também na qualidade e sustentabilidade da produção agropecuária como um todo.

6. Contribuições para a sustentabilidade

Os SAFs desempenham um papel significativo na promoção da sustentabilidade nas práticas agrícolas. Suas contribuições abrangem diversos aspectos, proporcionando benefícios econômicos, sociais e ambientais.

6.1. Promoções da biodiversidade

Uma das contribuições marcantes dos SAFs para a sustentabilidade é a promoção ativa da biodiversidade. A integração de árvores, pastagens e culturas agrícolas cria um ambiente propício à coexistência de diferentes formas de vida.

As árvores servem como *habitat* para aves, insetos benéficos e microrganismos do solo, aumentando a diversidade biológica no sistema. Essa variedade de organismos contribui para a regulação natural de praga, a polinização eficaz e a formação de ecossistemas mais resilientes (SIMIONI et al., 2022).

Os SAFs desempenham um papel crucial na melhoria da qualidade do solo. A presença de árvores contribui para a ciclagem de nutrientes, aumentando a disponibilidade de elementos essenciais para as plantas e microrganismos do solo (PEZARICO et al., 2013; LEMAIRE et al., 2014). Além disso, as raízes profundas das árvores ajudam na estruturação do solo, prevenindo a erosão e promovendo a retenção de água. Esses fatores combinados resultarão em solos mais férteis, resilientes e sustentáveis ao longo do tempo.

6.2. Reduções da pegada ambiental

Os SAFs oferecem uma redução significativa da pegada ambiental associada à produção de bovinos. A diversificação das atividades agrícolas e pecuárias em um mesmo espaço aperfeiçoa a eficiência no uso de recursos. A ciclagem de nutrientes entre árvores, pastagens e gado reduz a necessidade de fertilizantes químicos, causando os impactos ambientais negativos associados à produção convencional. Além disso, há menos dependência de insumos externos e promoção de práticas sustentáveis para a mitigação das mudanças climáticas.

6.3. Fixação de nitrogênio no solo

O nitrogênio (N) é um nutriente essencial para o crescimento das plantas. É parte de cada célula viva, constituindo moléculas de proteína, enzimas, ácidos nucleicos e citocromos. Na atmosfera, o N está presente em sua forma gasosa (N_2), mas apenas 2% dele estão disponíveis para as plantas na forma de amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-). As plantas obtêm N do solo por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN) ou da adubação nitrogenada (SOUZA, 2021) (Figura 9).

Atualmente, nos sistemas de produção agrícola, os adubos químicos desempenham um papel fundamental como fonte primária de nitrogênio. Entre

eles, a ureia e o sulfato de amônio são os fertilizantes nitrogenados mais amplamente adotados pelos agricultores. No entanto, devido à susceptibilidade desses fertilizantes a perdas por lixiviação, escoamento superficial, volatilização da amônia (no caso da ureia) ou imobilização na biomassa microbiana, surge a utilização das bactérias diazotróficas como uma alternativa viável para reduzir ou até mesmo substituir esses fertilizantes nas práticas agrícolas (SOUZA, 2021).



Figura 9. Ciclo do N. Fonte: <https://ilsbrasil.com.br/ciclo-do-nitrogenio-e-suas-reacoes/>, 2020.

A fixação biológica de N desempenha um papel essencial na promoção da fertilidade do solo, e os SAFs destacam-se como ambientes propícios para essa função crucial. Esse processo ocorre principalmente por meio da simbiose entre plantas leguminosas, como árvores e arbustos, e bactérias do gênero *Rhizobium*, resultando em benefícios significativos para a saúde do solo e para as plantas cultivadas (HUANG et al., 2016; CARVALHO et al., 2019). Essa abordagem sustentável desempenha um papel fundamental na redução da dependência de fertilizantes nitrogenados sintéticos, promovendo sistemas agropecuários mais equilibrados e resilientes.

A fixação de N ocorre por meio da formação de nódulos nas raízes das plantas leguminosas, onde as bactérias têm a capacidade de converter o

nitrogênio atmosférico (N_2) em formas assimiláveis pelas plantas, como amônia (NH_3) e íons amônio (NH_4^+). Esse processo fornece uma fonte acessível de nitrogênio para as plantas, contribuindo para seu crescimento e desenvolvimento (REJILI et al., 2012; ZHAO et al., 2020).

Nos SAFs, a presença comum de árvores e arbustos leguminosos torna esses sistemas altamente propícios para a fixação biológica de N. A diversidade de plantas nos SAFs promove uma variedade de interações simbióticas com bactérias fixadoras de N, aumentando a eficiência do processo (QUERNÉ et al., 2017). Isso resulta em um fornecimento constante de N para o solo, beneficiando não apenas as leguminosas, mas também as culturas agrícolas e outras plantas presentes no sistema.

A capacidade dos SAFs em fixar N no solo reduz a necessidade de aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (SMITH et al., 2020). Isso não apenas implica em economias financeiras para os agricultores, mas também contribui para a redução dos impactos ambientais associados ao uso excessivo de fertilizantes químicos, como a poluição da água e a emissão de gases de efeito estufa (KERMAH et al., 2018; XU et al., 2020).

A fixação de N no solo em SAFs não apenas promove a fertilidade do solo, mas também está alinhada aos princípios da agricultura sustentável (SILVA et al., 2017). Ao destacar a importância da diversidade de plantas, essa abordagem fomenta interações benéficas entre vegetais e microrganismos, resultando em sistemas agrícolas mais equilibrados e eficientes (COSTA et al., 2012).

7. Considerações

O estresse térmico representa um dos principais desafios na pecuária tropical, onde as elevadas temperaturas e alta umidade podem prejudicar a saúde e produtividade dos bovinos, resultando em perda de peso, redução na produção de leite e aumento da suscetibilidade a doenças.

Os SAFs surgem como uma abordagem inovadora que combina a produção agrícola com a conservação florestal, oferecendo diversos benefícios potenciais para mitigar o estresse térmico em bovinos, tais como:

- **Oferta de sombra:** as árvores e arbustos nos SAFs fornecem sombra, reduzindo a exposição dos animais às altas temperaturas.
- **Melhoria da ventilação:** a presença de árvores e arbustos contribui para melhorar a ventilação, facilitando a dissipação do calor.
- **Aumento da umidade:** as árvores e arbustos liberam umidade no ambiente por meio da transpiração, reduzindo a sensação térmica e aumentando a umidade relativa do ar, benefícios para os animais.

Além da mitigação do estresse térmico, os SAFs oferecem vantagens adicionais para a pecuária, incluindo:

- **Melhoria da qualidade do solo:** a presença de árvores e arbustos contribui para a melhoria da estrutura do solo, aumentando a produtividade das pastagens e reduzindo a erosão.
- **Aumento da biodiversidade:** os SAFs proporcionam habitat diversificado para plantas e animais, contribuindo para a conservação da biodiversidade.
- **Redução da dependência de insumos externos:** os SAFs podem ajudar a reduzir a dependência de fertilizantes e agrotóxicos, contribuindo para práticas agrícolas mais sustentáveis.

Embora os benefícios dos SAFs na mitigação do estresse térmico em bovinos sejam evidentes, são necessários mais estudos para avaliar seu potencial em diferentes condições climáticas e identificar as melhores práticas de manejo. Os SAFs representam uma abordagem promissora para o desenvolvimento de sistemas agropecuários sustentáveis e resilientes às mudanças climáticas, proporcionando melhoria do bem-estar animal, aumento da produtividade, redução de custos de produção e contribuição para a sustentabilidade global.

8. Referências

ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. de; KARVATTE JUNIOR, N. **Conforto térmico e bem-estar animal em pastagem: um desafio para a pecuária tropical.** In: IV SIMPAPASTO. Disponível em:

<https://docplayer.com.br/76178094-Conforto-termico-e-bem-estar-animal-em-pastagem-um-desafio-para-a-pecuaria-tropical.html>. Acesso em: 20 ago. 2023.

BAUMGARD, L. H.; RHOADS, R. P. Ruminant nutrition symposium: ruminant production and metabolic responses to head stress. **Journal of Animal Science**, v. 90, p. 1855-1865, 2012.

CARVALHO, F. A.; LAMMOGLIA, M. A.; SIMÕES, M. J. Breed effects thermoregulation and epithelial morphology in imported and native cattle subjected to heat stress. **J. Anim. Sci.**, v. 73, p. 3570-3573, 1995.

CARVALHO, L. R. et al. Nodulation and biological nitrogen fixation (BNF) in forage peanut (*Arachis pintoi*) cv. Belmonte subjected to grazing regimes. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 278, n. 46, p. 96-106, 2019.

CARVALHO, M. M.; BOTREL, M. A. Arbotização de pastagens: um caminho para a sustentabilidade de sistemas de produção animal a pasto. In: FORRAGICULTURA E PASTAGENS: TEMAS EM EVIDÊNCIA, 3., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: Editora UFLA, 2002, p. 31-76.

CASTRO, C. R. T.; MÜLLER, M. D.; FERNANDES, E. N.; SOUZA, A. D. de. **Ocorrência de espécies arbustivas e arbóreas em pastagens da micro-região de Juiz de Fora, Zona da Mata de Minas Gerais**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2008. 24 p. (Embrapa Gado de Leite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 27).

CORDEIRO, L. A. M. et al. Integração lavoura-pecuária e integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2017.

COSTA, M. C.; SILVA, E. M.; CARDOSO, C. T. S. Fixação biológica de nitrogênio em sistemas agroflorestais: potencial e desafios. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 1, p. 11-20, 2012.

COSTA, R. B.; ARRUDA, E. J. de; OLIVEIRA, L. C. S. de. Sistemas Agrossilvipastoris Como Alternativa Sustentável Para a Agricultura Familiar. Interações (Campo Grande) (2016): Interações (Campo Grande), 2016. Web.

COSTA, R. B.; ARRUDA, E. J.; OLIVEIRA, L. C. S. Sistemas agrossilvipastoris como alternativas sustentáveis para a agricultura familiar. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v. 3, p. 25-32, 2002.

DALCIN, V. C. et al. Physiological Parameters for Thermal Stress in Dairy Cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 8, p. 458-65, 2026.

DOMICIANO, L. F. et al. (2010). *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. 2.ed. Viçosa: UFV. 269 p. PEREIRA, D. H. F.; CABRAL, L. S.; LOPES, L. B.; PEDREIRA, B. C. Desempenho e comportamento de novilhos Nelore em sistemas integrados. **Ciência da Produção Animal**, v. 58, n. 5, p. 920-929, 2016.

EPIFÂNIO, P. S.; SANTOS, T. M. B. Qualidade do sombreamento de três espécies arbóreas na região de Aquidauana-MS. In: ZOOTEC 2006, 2006, Recife. **Resumos expandidos...** [Recife: ABZ], 2006. 1 CD-ROM.

FERNÁNDEZ, M. E. ; GYENGE, J. E. ; SALDA, G. D. et al. Silvopastoral systems in northwestern Patagonia I: growth and photosynthesis of *Stipa speciosa* under different levels of *Pinus ponderosa* cover. **Agroforestry Systems**, v. 55, p. 27-35, 2002.

FERREIRA, F. et al. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, p. 732-738, 2006.

FRANKE, I. L.; FURTADO, S. C. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. 2001.

GIRO, A.; PEZZOPANE, J. R. M.; BARIONI JUNIOR, W.; PEDROSO, A. de F. A.; LEMES, A. P.; BOTTA, D.; ROMANELLO, N.; BARRETO, A. N.; GARCIA, A. R. Comportamento e temperatura superficial corporal de bovinos de corte em sistemas integrados lavoura-pecuária com ou sem sombreamento arbóreo. **Ciência do Meio Ambiente Total**, n. 684, p. 587-596. 2019.

HUANG, J. et al. Responses of soil nitrogen fixation to *Spartina alterniflora* invasion and nitrogen addition in a Chinese salt marsh. **Scientific Reports**, v. 6, n. 12, p. 1-8, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agropecuária de bovinos**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/bovinos/br>>. Acesso em: 05 dez. 2023.

KERMAH, M. et al. N₂-fixation and N contribution by grain legumes under different soil fertility status and cropping systems in the Guinea savanna of northern Ghana. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 261, n. 43, p. 201-210, 2018.

LEMAIRE, G. et al. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 4-8, 2014.

LEME, T. M. S. P.; PIRES, M. de F. A.; VERNEQUE, R. da S.; ALVIM, M. J.; AROEIRA, L. J. M. Comportamento de vacas mestiças holandês x zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 3, p. 668-675, 2005.

LIMA, M. T. V.; FEITOSA, J. V.; OLIVEIRA, C. W.; COSTA, A. N. L. da. Influência da temperatura e umidade sobre o conforto térmico bovino em Barbalha, Ceará." **PUBVET**, v. 13, n. 12, p. 1-8, 2019.

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação da Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – PLANO ABCMapa**. Brasília/DF: [s.n.].

MIGUEL LENZ, A. et al. Expansion of eucalyptus energy plantations under a Livestock-Forestry Integration scenario for agroindustries in Western Paraná, Brazil. **Ecological Indicators**, v. 98, n. 54, p. 39-48, 2019.

MURGUEITIO, E., CALLE, Z., URIBE, F. et al. Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. **Forestry Ecology Management**, v. 261, p. 1654-1663, 2012.

NAIR, P. K. R. (Ed.) **Agroforestry systems in the tropics**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers: ICRAF, 1989. 664 p. (Forestry sciences).

NAIR, P. K. R. The role of soil science in the sustainability of agroforestry systems: eliminating hunger and poverty. In: GAMA-RODRIGUES, A. C. da; BARROS, N. F. de; GAMA-RODRIGUES, E. F. da; FREITAS, M. S. M.; VIANA, A. P.; JASMIN, J. M.; MARCIANO, C. R.; CARNEIRO, J. G. de A. (Ed.). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: UENF, 2006. p. 203-216.

NARDONE, A. Thermoregulatory capacity among selection objectives in dairy cattle in hot environment. **Zootec. Nutr. Anim.**, v. 24, p. 295-306, 1998.

NASCIMENTO, P. de O.; SOUZA, M. N. Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e a recuperação de pastagens degradadas. In: SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. IV. – Canoas, RS: Mérida Publishers. p. 152-171. 2022. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-10-7.c5>

NAVARINI, F. C. et al. Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. *Engenharia Agrícola*, v. 29, p. 508-517, 2009.

OLIVEIRA, T. K. de; ANDRADE, C. M. S. de; SALMAN, A. K. D. **Sistemas silvipastoris: conceitos, benefícios e métodos de implantação**. 2012.

OLIVEIRA, T. K. X.; FURTADO, S. C. X.; ANDRADE, C. M. S. X.; FRANKE, I. L. **Sugestões para implantação de sistemas silvipastoris**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2003. 28 p. (Embrapa Acre. Documentos, 84).

PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T.; PIRES, M. F. A.; et al. Desempenho de novilhas leiteiras em pastagem solteira ou em sistema silvipastoril constituído por *Eucalyptus grandis* e leguminosas arbóreas. In: CONGRESO NACIONAL DE SISTEMAS SILVOPASTORILES, 1., 2009, Posadas, Misiones – Argentina . **Anais...** Posadas, Misiones: INTA, 2009. p. 297-301.

PEZARICO, C. R. et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista de Ciências Agrárias - Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.

PIRES, M. F. A.; PACIULLO, D. S. Bem-estar animal em sistemas integrados. **Sistemas agroflorestais: a agropecuária sustentável**, p. 117-133, 2015.

POLSY, L.; von KEYSERLINGK, M. A. Revisão convidada: Efeitos do estresse térmico no bem-estar do gado leiteiro. *Jornal de ciência leiteira*, v. 100, n. 11, p. 8645-8657, 2017.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. et al. A radiação solar global em pastagem arborizada com renques de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex. R. Br. **Agrossilvicultura**, v. 1, p. 187-193, 2004.

QUERNÉ, A.; BATTIE-LACLAU, P. ; DUFOUR, L. ; WERY, J. ; DUPRAZ, C. Effects of Walnut Trees on Biological Nitrogen Fixation and Yield of Intercropped Alfalfa in a Mediterranean Agroforestry System. **European Journal of Agronomy**, n. 84, p. 35-46, 2017.

REJILI, M. et al. Symbiotic nitrogen fixation of wild legumes in Tunisia: Soil fertility dynamics, field nodulation and nodules effectiveness. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 157, p. 60-69, 2012.

RIPPLE, W. J. et al. World scientists' warning to humanity: a second notice. **BioScience**, v. 67, n. 12, p. 1026-1028, 2017.

SANTOS, W. B. R.; PIANO, L. M.; MALAVASI, M. M.; MALAVASI, U. C. Utilização de bosques em sistema de criação a pasto, para o conforto térmico animal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 5., 2004, Curitiba. SAFs: desenvolvimento com proteção ambiental. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 2004. p. 192-194. (Embrapa Florestas. Documentos, 98).

SILVA, G. T. A.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C.; DIAS, P. F.; FRANCO, A. A. O papel da fixação biológica de nitrogênio na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia. 2007.

SILVA, W. C. da. et al. Characterization of Thermal Patterns Using Infrared Thermography and Thermolytic Responses of Cattle Reared in Three Different Systems during the Transition Period in the Eastern Amazon, Brazil. **Animals (Basel)** v. 13, n. 17, p. 27-35, 2023.

SIMONI, G. F.; ABDON, L.; SCHMITT FILHO, F.; JONER, J. F.; ALFREDO, C. F.; ALEXANDRE, P. T. M. Response of birds to high biodiversity silvopastoral systems: integrating food production and biodiversity conservation through applied nucleation in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, n. 324, p. 107-118, 2022.

SMITH, J. et al. Potential yield challenges to scale-up of zero budget natural farming. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 3, p. 247-252, 2020.

SOUZA, M. N. **Tópicos em recuperação de áreas degradadas.** VOL. I. CANOAS: Mérida Publishers, 2021.

SUŠA, O. Global dynamics of socio-environmental crisis: dangers on the way to a sustainable future. **Civitas - Revista de Ciências Sociais**, v. 19, n. 2, p. 315, 2019.

XU, H. et al. Soil nitrogen concentration mediates the relationship between leguminous trees and neighbor diversity in tropical forests. **Communications Biology**, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2020.

ZHAO, Y. et al. Effect of root interaction on nodulation and nitrogen fixation ability of alfalfa in the simulated alfalfa/triticale intercropping in pots. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, p. 1-11, 2020.