

AValiação da Biomassa de Pastagem Através de Índices de Vegetação – Revisão de Literatura

João Angelo Silva Nunes¹
Ronis Daniel Leite Coelho²

RESUMO – O objetivo do presente trabalho foi realizar uma revisão bibliográfica sobre a avaliação da biomassa de pastagens através dos índices de vegetação com a utilização de sensoriamento remoto, visto que essa técnica é de suma importância para o manejo sustentável principalmente para os pecuaristas, de forma a contribuir para o equilíbrio entre a produção de forrageiras e a demanda da alimentação animal, além de evitar sérios problemas ambientais como erosão, assoreamento de corpos hídricos e emissões de gases de efeito estufa. A revisão foi elaborada por meio de uma pesquisa bibliográfica descritiva, tendo como base publicações técnicas e científicas relevantes, com fontes confiáveis como: livros, artigos acadêmicos, dissertações e teses que tratam sobre a avaliação da biomassa de pastagens por meio de índices de vegetação. Portanto, o trabalho mostrou que a avaliação da biomassa através dos índices de vegetação, obtidos por sensoriamento remoto é bastante eficiente, rápida e de baixo custo. Como resultado, pode se afirmar, portanto, que a avaliação da biomassa de pastagens, utilizando índices de vegetação, como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e o EVI (Enhanced Vegetation Index), se mostram como alternativas viáveis para a tomada de decisões sobre o manejo de pastagens, promovendo uma pecuária mais eficiente e sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de precisão; Manejo de pastagens; Sensoriamento remoto

EVALUATION OF PASTURE BIOMASS THROUGH VEGETATION INDICES – LITERATURE REVIEW

ABSTRACT - The objective of the present work was to conduct a literature review on the evaluation of pasture biomass through vegetation indices using remote sensing, since this technique is of great importance for sustainable management, especially for livestock farmers. It contributes to maintaining a balance between forage production and animal feed demand, while also helping to prevent serious environmental problems such as soil erosion, silting of water bodies, and greenhouse gas emissions. The review was developed through a descriptive bibliographic research, based on relevant technical and scientific publications from reliable sources such as books, academic articles, dissertations, and theses addressing the evaluation of pasture biomass through vegetation indices. Therefore, the study showed that the evaluation of biomass using vegetation indices obtained by remote sensing is highly efficient, fast, and low-cost. As a result, it can be stated that the evaluation of pasture biomass using vegetation indices, such as NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and EVI (Enhanced Vegetation Index), represents a viable alternative for decision-making in pasture management, promoting more efficient and sustainable livestock production.

KEYWORDS: Precision agriculture; Pasture management; Remote sensing

¹ Doutor em Agronomia, Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus São Miguel do Guaporé (joaoangelo_jaciara@hotmail.com).

² Graduando em Tecnologia em Agrocomputação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, Campus São Miguel do Guaporé (ronys.cmdca.sm@gmail.com).

INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma das maiores áreas destinadas à formação de pastagens do mundo, sendo que as áreas de pastagens são a base da produção pecuária nacional. Estima-se que a área total de pastagens no País esteja ao redor de 173 milhões de hectares, 117 milhões de ha de pastagens cultivadas e 56 milhões de ha de pastagens nativas (Macedo et al., 2013). No entanto, uma parcela significativa dessas áreas encontra-se com algum nível de degradação, caracterizado pela redução da cobertura vegetal, compactação do solo, perda de fertilidade e baixa produtividade de forrageiras.

Segundo Schuh (2023), a degradação de pastagens é um problema crítico na região amazônica, onde a pressão sobre os recursos naturais e a intensidade do uso da terra afetam diretamente a produtividade da biomassa. Esse cenário compromete não apenas a eficiência da produção animal, mas também intensifica problemas ambientais como erosão, assoreamento de corpos hídricos e emissões de gases de efeito estufa.

O equilíbrio ambiental depende da relação entre diferentes fatores que estão interligados, sendo que a cobertura vegetal desempenha papel fundamental na preservação dos recursos naturais, na proteção do solo e no ciclo do carbono. Segundo Nakai e Vetorazzi (2017), a vegetação é capaz de remover e armazenar grandes quantidades de dióxido de carbono da atmosfera por meio da fotossíntese, resultando na produção de biomassa vegetal.

Em áreas de pastagens, a degradação do solo é um problema muito comum, com destaque para a erosão hídrica. Segundo Lima et al. (2013), a presença de cobertura vegetal é fundamental para a redução de processos erosivos, pois auxilia na promoção de uma maior estabilidade do solo. Nesse sentido, o uso de índices de vegetação torna-se uma ferramenta importante para identificar áreas degradadas e monitorar a cobertura vegetal em áreas de pastagens.

Diante do exposto, o sensoriamento remoto tem se consolidado como uma ferramenta eficaz no monitoramento de áreas de pastagens, permitindo a análise de grandes áreas com rapidez e alta precisão. Segundo Sampaio et al. (2020), a tecnologia de uso de sensoriamento remoto possibilita a obtenção de dados por meio de sensores orbitais, permitindo a aplicação de índices de vegetação (IVs) para avaliar diferentes parâmetros da vegetação. Segundo Oliveira (2019), esses índices são calculados a partir de relações algébricas entre bandas espectrais de imagens de satélite, permitindo detectar variações na cobertura vegetal e, consequentemente, estimar a biomassa.

A realização de estimativa de biomassa por meio de índices de vegetação representa uma alternativa viável às técnicas convencionais de medição desses índices, que são mais onerosas, demoradas e com maiores limitações em termos de escala espacial. Freitas (2021) ressalta que o monitoramento de lavouras através da captura de dados, via sensores remotos e proximais (drones) fornece informações oportunas que contribuem para o uso racional dos recursos naturais e o aumento da produtividade de forrageiras.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre a utilização de índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto para a estimativa da biomassa em áreas de pastagens, destacando sua relevância para o monitoramento ambiental e a sustentabilidade da produção pecuária.

METODOLOGIA

A revisão de literatura foi realizada por meio de uma abordagem bibliográfica descritiva, com base em publicações técnicas e científicas relevantes para o tema proposto. O levantamento bibliográfico contemplou livros, artigos acadêmicos, dissertações e teses que tratam sobre a avaliação da biomassa de pastagens por meio de índices de vegetação.

A seleção das fontes abordadas no texto foi realizada levando em consideração critérios de relevância sobre o tema abordado, as referências bibliográficas priorizaram publicações dos últimos dez anos (porém há citações relevantes mais antigas), além de considerar a qualidade científica do material utilizado. As principais bases de dados utilizadas foram o Google Acadêmico (Google Scholar), portal de periódicos da CAPES e a biblioteca eletrônica SciELO, devido possuir um amplo acervo de teses, dissertações e artigos científicos revisados por pares.

Na realização das pesquisas foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: sensoriamento remoto, biomassa de pastagens, índice de vegetação em pastagens, pastagens degradadas, NDVI, EVI, modelagem e estimativa de biomassa.

A análise dos textos dos materiais coletados foi para identificar os principais métodos de sensoriamento remoto aplicados ao monitoramento de áreas com cobertura vegetal, com ênfase no uso de índices de vegetação para estimativa de biomassa em áreas de pastagem. Essa etapa permitiu compreender o papel da vegetação na cobertura do solo e como esses índices podem auxiliar em práticas melhorias de qualidade do meio ambiente, além da aplicabilidade de ferramentas tecnológicas no estudo de pastagens.

Portanto, para realizar o presente trabalho, foram determinados critérios visando garantir o levantamento bibliográfico descritivo referente a temática, sendo esse método necessário para agrupar os materiais encontrados por relevância e época de publicação.

RESULTADOS DA REVISÃO

Importância das pastagens no Brasil

As pastagens representam a principal base alimentar dos rebanhos bovinos no Brasil, sustentando a pecuária extensiva, que predomina em grande parte do território nacional. Com aproximadamente 173 milhões de hectares dedicados a pastagens, o Brasil possui uma das maiores áreas destinadas à produção forrageira do mundo, sendo 117 milhões de hectares de pastagens cultivadas e 56 milhões de pastagens nativas (Macedo et al., 2013).

As áreas de pastagens são divididas em três categorias: natural, nativa e cultivada. As pastagens naturais podem ser caracterizadas como biosistemas pastoris naturais e a sua exploração através da pecuária representa uma das melhores formas de utilização sustentável do solo (Biasiolo et al., 2021). Segundo Rocha et al. (2020) quando a vegetação se encontra no estágio mais avançado de evolução e em equilíbrio dinâmico entre o clima e o solo, essa vegetação é denominada de “clímax” e é neste ambiente que existem as pastagens naturais, sejam elas herbáceas, arbustivas ou arbóreas.

A pastagem nativa é uma cobertura vegetal que surge de maneira espontânea e apresenta algum tipo de valor forrageiro, e é considerada a área onde a vegetação original é composta de floresta, campo cerrado, caatinga, agreste, savana ou campo natural de espécies herbáceas (campo sujo; campo limpo), (Cezar et al., 2005). As pastagens nativas são de extrema importância devido à sua alta diversidade de espécies. No entanto, a produção de forragem nativa remete às características de baixa produtividade, consequentemente baixa rentabilidade.

Devido a isto, muitos produtores utilizam espécies exóticas para o plantio de forragem. Estas, são denominadas de pastagens cultivadas (Rocha et al., 2020).

Com a eficiência do sistema da agropecuária, o Brasil apresenta bons resultados na economia com alta de 5,1% no faturamento (MAPA, 2021). De acordo com o IBGE (2019), o Brasil conta com um rebanho bovino de 214,7 milhões de cabeças. Assim, as pastagens no Brasil são extremamente importantes para a produção de carne bovina devido à ampla extensão territorial das pastagens estabelecidas no país, além de ser considerada a base do alimento do rebanho, uma vez que é a fonte mais barata para produção de proteína animal (Fernandes et al., 2015).

Com a expansão da atividade pecuária no país e o aumento na comercialização de carne bovina no mercado externo, torna-se crescente a demanda pela eficiência em produtividade. As pastagens cultivadas já conquistaram destaque no Brasil em substituição às nativas, principalmente devido ao padrão de produção que se firmou nos últimos anos (Dim et al., 2015).

Com novas tecnologias, pesquisas em melhoramento genético e o espírito empreendedor dos produtores brasileiros, novas tecnologias foram incorporadas ao sistema produtivo. Assim, ao longo dos anos, novas espécies e cultivares forrageiras foram surgindo e, aliado à estratégia de manejo do solo, da pastagem e do animal, o incremento da produtividade de carne e leite no Brasil (Borghi et al., 2023). Mesmo com avanço de tecnologias, as áreas de pastagens brasileiras ainda possuem grandes áreas com algum nível de degradação. Segundo Dias Filho (2023), a degradação de pastagens é um problema com ocorrência comum em todas as regiões do Brasil. Este fenômeno causa prejuízos agrônômicos, econômicos e ambientais, pois contribui para que uma proporção considerável das áreas de pastagens no País esteja sendo usada muito abaixo do seu potencial produtivo, ou que seja abandonada.

Segundo Borghi et al. (2023) é preciso esclarecer que “degradação” é diferente de “perda de produtividade”. A perda de produtividade é um processo natural, pois, ao longo de sua exploração, a planta forrageira vai perdendo seu potencial de produção de massa, mesmo quando submetida a manejos que prolonguem seu ciclo. É um processo natural e que depende da interação entre a planta, o solo e o meio em que esta está inserida.

Conforme Schuh (2023), a degradação de pastagens é um problema existente principalmente na Amazônia, pois diz respeito a intensidade do pastejo e as condições do solo, que estão relacionadas à idade e o uso da terra, que sofrem impactos nas propriedades biofísicas das pastagens, como por exemplo, as condições nutricionais e a redução da produtividade da biomassa devido, principalmente as mudanças climáticas da região.

O processo de degradação de pastagens é caracterizado por uma série de alterações estruturais e funcionais em áreas de pastagens, como redução da cobertura vegetal, compactação do solo, diminuição da fertilidade, aumento da presença de plantas invasoras e queda no potencial produtivo (Bonfim-Silva et al., 2016; Macedo et al., 2013). Já em relação à emissão de gases de efeito estufa (GEE) de forma antropogênica, os solos agrícolas têm contribuído significativamente por meio da emissão de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) (Nunes et al., 2022).

As alterações citadas anteriormente comprometem significativamente a produção de biomassa em áreas de pastagens, uma vez que as plantas forrageiras perdem sua capacidade de crescer de forma eficiente, interceptar luz solar e, através da fotossíntese, converter energia luminosa em matéria seca.

Assim, estabelecer uma relação entre a condição da pastagem e sua capacidade de produção de biomassa é essencial um diagnóstico precoce dos processos de degradação de áreas de pastagens. O uso de tecnologias como sensoriamento remoto e índices de vegetação contribuem significativamente para esse monitoramento, auxiliando na tomada de decisões quanto à recuperação e ao manejo de áreas comprometidas.

Produção de biomassa em áreas de pastagens

A informação da dinâmica do crescimento da biomassa de forragem em pastagens é de grande importância para os aprimoramentos da sua capacidade produtiva, para estabelecimento de metodologias de manejo do pastejo, bem como avaliações com fins ecológicos (Zhang et al., 2016). Sendo que melhores respostas da maximização da taxa de acúmulo de forragem, especificamente de folhas, são obtidas quando se utilizam frequências de desfolhação equivalentes a 95% da RFA (radiação fotossinteticamente ativa) interceptada no topo do dossel (Silva et al., 2015).

A produção de biomassa em áreas de pastagem é essencial para os sistemas agropecuários, pois está relacionada com a disponibilidade de alimento para pastejo dos animais. A estrutura do pasto é fator fundamental na determinação da produtividade primária e secundária dos ecossistemas de pastagens. Como decorrência disso, mensurações como a massa de forragem, a massa de folha verde, a massa de colmo, a massa de material morto, a composição morfológica dos perfilhos e a razão folha: colmo são essenciais para a caracterização das condições em pastos mantidos sob pastejo (Alves, 2017).

Conforme Nakai e Vetorazzi (2017), a vegetação possui uma grande importância no que diz respeito a regulação climática e no ciclo do carbono ao remover e armazenar grandes quantidades de gás carbônico que é produzido pela respiração e absorvido pelas plantas através da fotossíntese, produzindo a biomassa que aumenta conforme o crescimento da vegetação.

Desta forma, de acordo com Nakai e Vetorazzi (2017), a biomassa vegetal é utilizada como indicador de estoque de carbono, pela captura de carbono atmosférico pela vegetação, portanto, a biomassa vegetal resulta na quantificação do estoque de carbono.

Fava et al. (2009) descrevem que a avaliação da biomassa da forragem, bem como a qualidade nutricional é bastante eficaz para avaliar a produtividade e a qualidade das pastagens, visto que a qualidade e a quantidade da forragem possuem grande influência nos padrões para a melhoria da distribuição do pastejo do rebanho bovino, pois afetam de forma significativa o desempenho geral dos animais.

Schuh (2023) cita que a elevada concentração de biomassa viva existente nas mais diferentes formações vegetais faz parte integrante das florestas amazônicas, no que diz respeito aos estudos e discussões detalhadas sobre a ciclagem de carbono e monitoramento do clima, cujos dados são transmitidos através do avanço e aprimoramento da mensuração da biomassa estocada, através do sensoriamento remoto, de forma a verificar, mapear e monitorar a degradação de pastagens.

Conforme Schuh (2023), a degradação de pastagens é um problema existente principalmente na Amazônia, pois diz respeito a intensidade do pastejo e as condições do solo, que estão relacionadas à idade e o uso da terra, que sofrem impactos nas propriedades biofísicas das pastagens, como por exemplo, as condições nutricionais e a redução da produtividade da biomassa devido, principalmente as mudanças climáticas da região. A Figura 1 demonstra uma representação simplificada do conceito de degradação de pastagens, relacionando-a com o potencial de produção de biomassa.

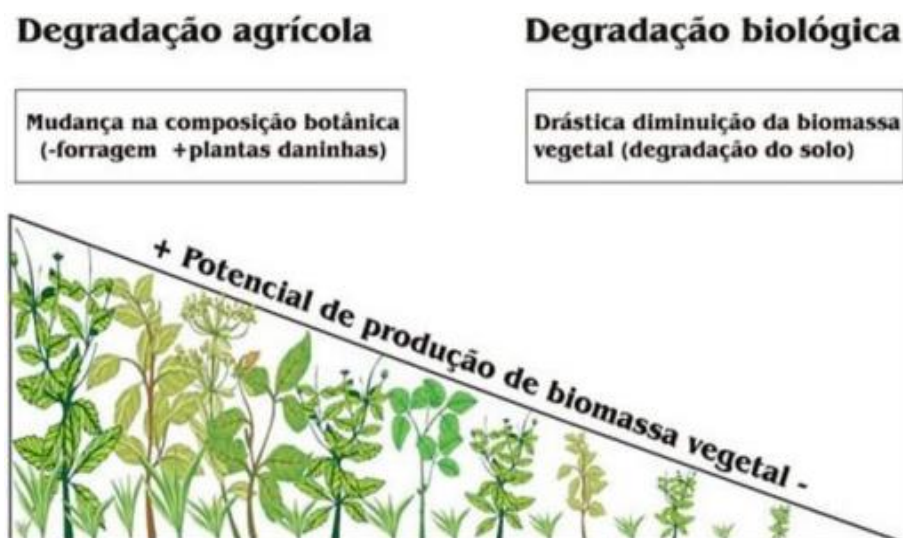


Figura 1. Representação simplificada do conceito de degradação de pastagens.
Fonte: Dias-Filho (2015).

Nesse sentido, o conhecimento da quantidade de massa de forragem e das melhores formas de estimá-la é fundamental para a adoção do manejo da pastagem de forma apropriada, pois permite ajustar adequadamente a taxa de lotação de uma determinada área de pastagem, uma ação de manejo essencial para evitar a degradação da mesma. (Alves, 2017). Nesse contexto, o conhecimento da produção de massa de forragem, sua variação durante o ano e a distribuição espacial da biomassa forrageira é fundamental para decisões referentes ao manejo correto das pastagens, visto que a massa de forragem, determinará alterações na taxa de acúmulo de forragem e nas taxas de consumo pelos animais (Souza et al., 2020).

Segundo Cruz et al. (2021) compreensão da morfogênese apresenta-se como uma ferramenta capaz de entender o fluxo de biomassa dentro do dossel forrageiro em resposta ao manejo adotado. Ademais, Souza et al. (2020) relatam que, através da morfogênese, é possível conhecer o comportamento e o limite fisiológico de cada espécie e cultivar por meio dos recursos de crescimento disponíveis e, assim, elaborar recomendações de manejo condizentes com a necessidade da espécie presente no sistema (Cruz et al., 2021).

O conhecimento da capacidade de produção foliar, desenvolvimento da planta diante de diferentes fatores ambientais, de suas características morfogênicas, fisiológicas e estruturais é importante para que sejam desenvolvidos métodos que possibilitem uma melhor utilização das pastagens (Souza et al., 2020).

Segundo Zanine et al. (2006) existem diversos métodos de avaliação da massa de forragem na pastagem, sendo basicamente agrupados em dois grupos, métodos direto, que consiste no corte da forragem de uma área de pastagem amostrada, considerado o método destrutivo, e o indireto, que não ocasiona danos a pastagens e são relativamente rápido e com menor demanda de mão de obra, quando comparado com os métodos diretos.

Tradicionalmente, a mensuração ou avaliação da biomassa é realizada através de técnicas diretas, como o corte e pesagem da forragem dos pastos, porém esses procedimentos são bastante onerosos e demorados, pois demandam de tempo e mão de obra especializada e ainda são bastante limitados na escala espacial de aplicação, portanto, o sensoriamento remoto representa uma alternativa mais viável, pois permite a obtenção de dados de ampla cobertura espacial de forma a se obter dados contínuos (Carvalho et al., 2008; Santos et al., 2021).

Segundo Freitas (2021), mensurar e avaliar a biomassa através de índices de vegetação tipo pastagens é fator de grande importância para a pecuária moderna, visto que estudos e pesquisas mostram estimativas de cálculos através da captura de imagens de sensoriamento remoto bastante eficiente, fornece informações oportunas de maneira a intensificar o sistema

de uso da terra através da integração lavoura e pecuária, de forma a aumentar a produtividade de forragem, definida pela quantidade de biomassa produzida por área. Sendo assim, pode-se afirmar que uma das vantagens dos estudos de determinação de biomassa e carbono é a possibilidade de associá-los com geotecnologias e dados de sensoriamento remoto e poder fazer estimativas da vegetação.

Pois os pecuaristas e instituições locais necessitam de informações confiáveis sobre a avaliação da biomassa, para que possam desempenhar um manejo mais eficaz e racional sobre o tratamento do gado e ainda para monitorar as condições dos recursos de pastagem em toda a área territorial, enfatizando que as técnicas de sensoriamento remoto têm como objetivo oferecer uma solução econômica de acordo com a estimativa quantitativa de variáveis biofísicas e bioquímicas de pastagens na localidade (Fava et al., 2009).

Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento de pastagens

O sensoriamento remoto (SR) é uma tecnologia que permite a aquisição de informações sobre a superfície terrestre por meio de sensores embarcados em satélites, aeronaves ou drones, sem a necessidade de contato direto com o alvo. Essa ferramenta tem se destacado no monitoramento de áreas de pastagem, proporcionando dados em larga escala com frequência e precisão adequadas às demandas da agropecuária moderna (Jensen, 2009).

Sampaio, et. al, (2020) citam que o SR também é utilizado no manejo de sistemas agropecuários através de diferentes técnicas, como por exemplo, o índice de vegetação que tem como objetivo destacar a relação de variações relacionado à análise e estudo dos parâmetros biofísicos das plantas, através de imagens, destacando com precisão a qualidade e a quantidade desses vegetais.

No contexto das pastagens, o SR é utilizado para identificar padrões de crescimento, estimar biomassa, monitorar degradação, avaliar cobertura vegetal e detectar mudanças temporais na vegetação. Sensores como Landsat, Sentinel-2 e CBERS fornecem imagens multiespectrais com resolução adequada para acompanhar áreas extensas de pastagem ao longo do tempo (Sano et al., 2010).

Souza et al., (2020) descrevem que com o avanço da tecnologia baseada na disponibilidade crescente das imagens de satélite possuem uma alta resolução temporal, enfatizando o sensor Sentinel-2, é possível monitorar as escalas das áreas de pastagens de uma região de forma dinâmica e eficaz, fornecendo dados para o planejamento mais adequado sobre o uso do solo, bom como o manejo de adaptação de pastagem, de forma a mitigar possíveis impactos ambientais associados à pecuária extensiva.

Os satélites Sentinel-2, lançados pela European Space Agency (ESA), são satélites multiespectrais que contam com 13 bandas, com resolução espacial de até 10 m e um tempo de revisita de 5 dias, características técnicas que auxiliam no estudo e acompanhamento das áreas degradadas (Colletto et al., 2020).

Além dos sensores orbitais, o uso de drones tem se tornado cada vez mais comum em propriedades rurais, permitindo o monitoramento mais detalhado, com alta resolução espacial e maior controle operacional. Sensores acoplados aos drones, como câmeras multiespectrais ou térmicas, podem coletar dados em tempo real, favorecendo decisões rápidas sobre manejo (Silva et al., 2024).

Em relação às bandas espectrais, o infravermelho próximo, red-edge e infravermelho médio são comumente utilizados por serem faixas do espectro que capturam diferenças na estrutura do dossel devido às mudanças no índice de área foliar, conteúdo de água e clorofila, além das contribuições de materiais não fotossinteticamente ativos, especialmente observados na estação seca e na vegetação herbácea (Toniol et al., 2017). Além das variações espectrais, índices de vegetação como, além dos já citados NDVI e EVI, o NDWI (Normalized Difference Water Index) e o NDII (Normalized Difference Infrared Index) são alguns dos mais importantes

(Toniol et al., 2017), pois estão relacionados às diferenças na estrutura do dossel e ao conteúdo de água nas folhas (Oliveira et al., 2020).

Geralmente o índice mais utilizado é o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) (Rouse et al., 1974), onde relaciona reflectância da vegetação aos comprimentos de ondas vermelho e próximo do infravermelho.

Pinguello et al., (2020) sustentam que a maior quantidade de luz é absorvida e o infravermelho próximo refletida, quando o dossel apresenta maior produção e forragem, contudo, quando dossel apresenta menor produção de massa acontece o inverso.

As principais vantagens do SR incluem a abrangência espacial, a capacidade de repetição das imagens, o custo relativamente baixo quando comparado aos métodos tradicionais, e a possibilidade de integração com sistemas de georreferenciamento e modelagem. No entanto, fatores como a presença de nuvens, resolução temporal limitada e a necessidade de validação com dados de campo ainda representam desafios.

Porém a tecnologia deve ser adequada e compatível para que haja uma intensificação no uso da terra de forma racional e eficiente dos recursos naturais, pois as pastagens, além de alimentar o rebanho, ainda evita a degradação do solo e, portanto, é necessário que as modelagens testadas sejam feitas de forma frequente para a estimativa da biomassa (Freitas, 2021).

Segundo Oliveira (2019), muitos estudos sobre sensoriamento remoto voltados para o monitoramento da vegetação utilizam índices de vegetação (IVs), para que possa efetuar uma melhor análise e interpretação dos resultados, pois os IVs dizem respeito as transformações adimensionais, que são calculadas através de relações algébricas sobre os dados provenientes de bandas espectrais distintas.

Índices de vegetação e modelagem para estimativa da biomassa em áreas de pastagens

Com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto obtêm-se da superfície de áreas de pastagens a partir de imagens orbitais e aéreas, os valores de reflectância dos alvos da superfície. Estes valores podem ser tratados e da análise gerar dados de índices de vegetação (IVs) que refletem o estado de crescimento da vegetação presente (Prey et al., 2020). Assim, os equipamentos imageadores podem auxiliar os produtores rurais para um monitoramento mais eficiente da lavoura, da pastagem e dos animais por meio de captação de informações que auxiliam no aprimoramento do desenvolvimento e produtividade dos sistemas agropecuários (Passos, 2021).

Os índices de vegetação são indicadores obtidos a partir de relações matemáticas entre diferentes bandas espectrais das imagens, geralmente no vermelho (Red) e no infravermelho próximo (NIR). Esses índices permitem quantificar aspectos da vegetação como vigor, densidade, cobertura e estado nutricional, tornando-se ferramentas fundamentais para a estimativa da biomassa vegetal (Rouse et al., 1974).

Sendo que, ao longo dos últimos anos, o uso de softwares, máquinas agrícolas automatizadas e de precisão, técnicas de reprodução como seleção genético e mais recentemente o uso de sensores imageadores que captam essas reflectâncias a bordo de plataformas estão na vanguarda dos sistemas de inteligência artificial que auxiliam no processo de manejo das áreas de produção agropecuária (Passos, 2021).

O índice Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) foi descrito pela primeira vez por Rouse et al. (1974). Esse índice utiliza a diferença entre a banda do infravermelho próximo e do vermelho, analisando sua resposta espectral, e é um dos mais utilizados no mundo para avaliar a biomassa presente naquele pixel caracterizado pela clorofila. Seus valores podem variar de -1 a 1 e, quanto mais próximo de 1, melhor é a qualidade da cobertura vegetal (Colletto et al., 2020), ou seja, indicam vegetação densa e vigorosa, enquanto valores baixos indicam vegetação esparsa ou solo exposto.

O NDVI está diretamente relacionado à capacidade fotossintética e, portanto, à absorção de energia das copas das plantas e permite analisar da melhor forma as variações sofridas pela cobertura vegetal ao longo do tempo (Passos, 2021).

O NDVI é o IV mais utilizado em estudos sobre vegetação, sendo calculado pela equação 1:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (1)$$

Onde,

NIR: luz quase infravermelha;

RED: luz vermelha visível.

Basicamente, o NDVI funciona comparando matematicamente a quantidade de luz vermelha visível absorvida e a luz quase infravermelha refletida. O pigmento de clorofila na planta saudável absorve a maior parte da luz vermelha visível, embora a estrutura celular de uma planta reflète a maior parte da luz quase infravermelha. Isto significa que a atividade fotossintética elevada, normalmente associada à vegetação densa, terá menos reflectância na banda vermelha e maior reflectância na banda infravermelha próxima. Olhando para a forma como estes valores se comparam entre si, é possível detectar e analisar de forma fiável a cobertura vegetal separadamente de outros tipos de cobertura natural do solo (EOS, 2023).

Segundo Roque (2024), além da técnica de medição de NDVI via imagens de satélite, muitos autores se dedicam a realizar a medição do NDVI através de instrumentos que possibilitem uma melhor resolução espacial e temporal, como por meio de instrumentos portáteis (Yao et al., 2020) e o processamento de imagens capturadas por câmeras espectrais embarcadas em Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs) (Amorim et al., 2022), ou em locais fixos, utilizados para monitoramento constante.

Na Figura 2, a reflectância é demonstrada através da vegetação verde que absorve a luz visível e reflete a luz infravermelha próxima e da vegetação esparsa que reflete mais luz visível e menos luz infravermelha próxima.

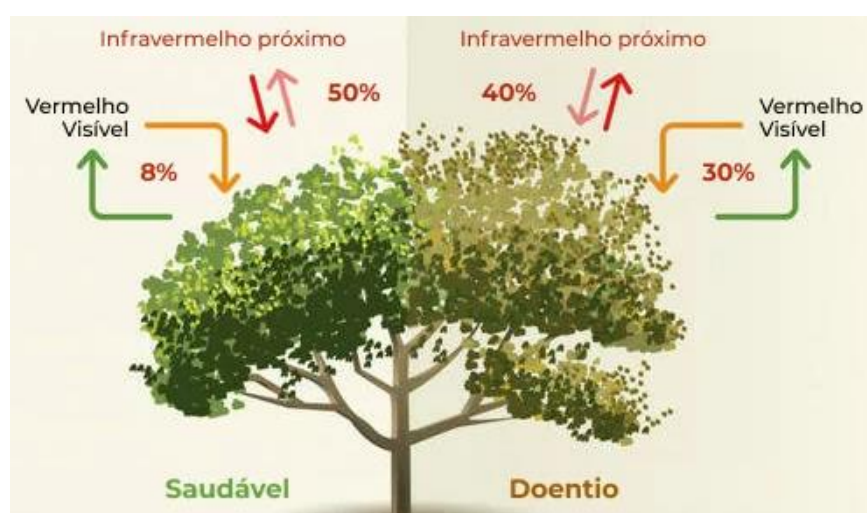


Figura 2. Condições de reflectância em função das condições da planta.

Fonte: EOS, 2023.

Valle Júnior et al. (2019) avaliaram a degradação das pastagens, que representa um problema ambiental global que exige mitigação. Com base em valores NDVI extraídos de imagens de satélite foram determinados os valores da reflectância para pastagens saudáveis,

suavemente degradadas, moderadamente degradadas e degradadas (chamadas fisionomias), baseado em relações não lineares entre valores de NDVI e tempo e em relação a resistência mecânica à penetração no solo. Os resultados expuseram que 60% de todas as pastagens avaliadas encontravam-se degradadas.

Serrano et al. (2016) avaliando dois tipos de sensores, o sensor óptico ativo e um teste de capacitância. Observaram que adoção NDVI pode ser usado para monitorar os padrões espaciais e temporais do crescimento vegetativo, sendo que os valores mais altos (NDVI) foi observado quando o dossel se aproximava do seu maior vigor vegetativo.

Outro índice bastante difundido é o EVI (Enhanced Vegetation Index), ou Índice de Vegetação Melhorado. Segundo Passos (2021), seu cálculo considera as bandas do vermelho e do infravermelho, como o NDVI, e utiliza ainda a banda do azul para minimizar as influências atmosféricas no índice. Esses índices normalizam a reflectância de imagens em valores que podem ser interpretados como um diagnóstico para monitorar áreas de sistema de produção vegetal e animal. melhora a sensibilidade em áreas com alta densidade de vegetação.

Segundo Almeida et al. (2008), o EVI é utilizado na avaliação do vigor da vegetação, pois está diretamente relacionado com variações ocorridas na cobertura verde. As imagens EVI são geradas por meio das bandas individuais na faixa espectral do azul, vermelho e infravermelho do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Este índice minimiza os efeitos de resposta do solo e da atmosfera, como também apresenta alta resposta a variações fenológicas.

O EVI é calculado de acordo com a Equação 2:

$$EVI = 2.5 * ((NIR - RED) / ((NIR) + (C1 * RED) - (C2 * BLUE) + L)) \quad (2)$$

Onde,

NIR: luz quase infravermelha;

RED: luz vermelha visível;

BLUE: é a reflectância da região espectral do azul;

C1 e C2: coeficientes de correção;

L: fator de ajuste do solo.

A faixa de valores para EVI é de -1 a +1, e para vegetação saudável, varia entre 0,2 e 0,8. Os índices EVI contém coeficientes C1 e C2 para corrigir a dispersão de aerossol presente na atmosfera e L para ajustar o solo e o fundo do dossel. Analistas GIS iniciantes podem ficar confusos sobre quais valores devem ser usados e como calcular o EVI para diferentes dados de satélite. Tradicionalmente, para o sensor MODIS da NASA (para o qual o índice de vegetação EVI foi desenvolvido) C1=6, C2=7,5 e L=1 (EOS, 2025).

Tanto o NDVI e o EVI são índices que normalizam a reflectância de imagens em valores que podem ser interpretados como um diagnóstico para monitorar áreas de sistema de produção vegetal e animal. Os dois índices complementam-se em estudos globais de vegetação e melhoram a detecção de mudanças na vegetação e extração de parâmetros biofísicos do dossel (Passos, 2021). Outra diferença entre o NDVI e o EVI é que, na presença de neve, o NDVI diminui, enquanto o EVI aumenta (Huete et al, 2002).

Existem uma série de outros índices de vegetações que são relevantes, como o SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index), que minimiza o efeito do solo exposto, o GNDVI (Green NDVI), que usa a banda do verde, útil para detectar clorofila, o VARI (Visible Atmospherically Resistant Index), útil com câmeras RGB, entre outros.

Independente do índice de vegetação utilizado, esses índices são modelos matemáticos usados para medir a quantidade de reflectância das plantas e com isso definir a taxa fotossintética do vegetal com base nas coberturas vegetais. Esses dados são coletados a partir

de fotografias captadas por sensores especiais instalados em aparelhos, em plataformas aéreas, terrestres e orbitais, como drones, aviões ou satélites (Passos, 2021).

As relações entre características da vegetação e sua resposta no espectro eletromagnético tem sido estudadas por diversos tipos de modelagem. Modelos empíricos de estimativas de características biofísicas da pastagem, em geral alcançam boas correlações, mas frequentemente não podem ser generalizados, pois são construídos com base em relações locais, muito específicas para a situação avaliada (Reinermann et al., 2020).

Os métodos mais avançados de estimativa de biomassa utilizando imagens de sensoriamento remoto fazem uso de algoritmos de aprendizagem de máquina. No entanto, ainda existem limitações envolvidas ao utilizá-los para a estimativa de biomassa levando em consideração a variação espaço-temporal das pastagens, como por exemplo, a enorme quantidade de variáveis preditoras geradas para o treinamento dos modelos de inteligência artificial (Nisieimon, 2020).

Atualmente, os métodos mais avançados de estimativa de biomassa utilizando imagens de sensoriamento remoto fazem uso de algoritmos de machine learning, aprendizagem de máquina (Otgonbayar et al., 2018). No entanto, ainda existem limitações envolvidas ao utilizá-los para a estimativa de biomassa levando em consideração a variação espaço-temporal das pastagens, como por exemplo, a enorme quantidade de variáveis preditoras geradas para o treinamento dos modelos de inteligência artificial (Nisieimon, 2020).

Para o desenvolvimento de modelos matemáticos para estimativa de produção de biomassa em áreas de pastagens, é fundamental a realização da calibração com dados amostrados em campo, seguida da validação dos dados amostrados com conjuntos independentes de dados. A acurácia dos modelos matemáticos depende da qualidade das imagens contidas, da resolução espacial e da frequência das coletas, além da escolha adequada dos IVs e dos algoritmos de ajuste.

DISCUSSÃO

De acordo com o conteúdo apresentado na revisão de literatura realizada, pode-se afirmar que o Brasil possui uma das maiores áreas de pastagens cultivadas do planeta, além de possuir uma extensa área de pastagens nativas, porém grande parte dessa área de pastagem sofre com algum tipo de degradação. A degradação das pastagens brasileiras representa um dos principais fatores limitantes à produtividade do setor agropecuário, impactando diretamente na produção de biomassa forrageira.

Autores como Dias Filho (2023), afirmam que as alterações estruturais e funcionais das pastagens degradadas, como a redução da cobertura vegetal e compactação do solo comprometem a capacidade das plantas em interceptar luz e realizar fotossíntese de forma eficiente, resultando na queda da produção de matéria seca. Segundo Macedo et al. (2013), essas áreas que se encontram com algum nível de degradação, são caracterizadas pela redução da cobertura vegetal, compactação do solo, perda de fertilidade e baixa produtividade de forrageiras.

Portanto, de acordo com as informações citadas, a degradação compromete de forma significativa a produção de biomassa em áreas de pastagens, uma vez que as plantas forrageiras perdem sua capacidade de crescer de forma eficiente, interceptar luz solar e, através da fotossíntese, converter energia luminosa em produção de matéria seca.

Dentro desse contexto, pode-se afirmar que a manutenção da qualidade do solo e de uma cobertura vegetal adequada, bem como da manutenção da qualidade das pastagens é muito importante para garantir uma de biomassa tanto em quantidade quanto em qualidade, pois, de

acordo com Alves (2017), determinações morfológicas, como massa de forragem e a razão folha:colmo, fornecem indicadores importantes da condição da pastagem. Porém, os métodos tradicionais de avaliação, como o corte e a pesagem da forragem, embora precisos, são onerosos e limitados em áreas de grandes dimensões (Carvalho et al., 2008).

Assim, estabelecer uma relação entre a condição da pastagem e sua capacidade de produção de biomassa através do índice de vegetação é essencial para um diagnóstico precoce dos processos de degradação de áreas de pastagens, portanto, o uso de tecnologias como sensoriamento remoto e índices de vegetação contribuem significativamente para esse monitoramento, auxiliando na tomada de decisões quanto à recuperação e ao manejo de áreas de pastagens degradadas.

Sendo assim, o uso de tecnologias como o sensoriamento remoto (SR) se destacam por oferecerem uma alternativa que seja viável e também eficaz para a realização do monitoramento de grandes áreas de pastagem. As imagens orbitais obtidas por satélites como Sentinel-2 e Landsat permitem avaliar com maior frequência e com alta resolução espacial parâmetros que podem ser utilizados para determinação da qualidade das pastagens, sendo que dentro desses parâmetros pode-se destacar a cobertura vegetal e índice de área foliar (Sano et al., 2010; Souza et al., 2020), fornecendo dados para o planejamento mais adequado sobre o uso do solo, bem como o manejo da pastagem, de forma a mitigar possíveis impactos ambientais associados à pecuária extensiva. Além disso, sensores embarcados em drones oferecem maior controle operacional e resolução, favorecendo intervenções mais rápidas no manejo (Silva et al., 2024).

Dentro do contexto citado nos parágrafos anteriores, pode-se afirmar que a avaliação de biomassa por meio de índices de vegetação é uma alternativa bastante viável, visto que as técnicas convencionais de medição desses índices são mais onerosas, demoradas e com maiores limitações em termos de escala espacial. Portanto, o monitoramento de pastagens através da captura de dados através de sensores remotos e proximais (drones) fornece informações necessárias que contribuem para o uso racional dos recursos naturais e o aumento da produtividade de forrageiras.

No que diz respeito a avaliação da biomassa, pode-se observar que mensurar e avaliar a biomassa através de índices de vegetação é de grande importância para o setor agropecuário. Nesse sentido, o levantamento da quantidade de biomassa de forragem e o conhecimento das melhores formas de estimá-la é extremamente importante para a adoção de práticas de manejo adequadas em áreas de pastagem, essencial para evitar a degradação da mesma.

Já em relação aos sensores acoplados aos drones, como câmeras multiespectrais ou térmicas, são equipamentos que podem coletar dados em tempo real, podendo ser utilizados para decisões rápidas sobre manejo. Quanto às bandas espectrais, o infravermelho próximo, red-edge e infravermelho médio são comumente utilizados por serem faixas do espectro que capturam diferenças na estrutura do dossel devido às mudanças no índice de área foliar, conteúdo de água e clorofila, além das contribuições de materiais não fotossinteticamente ativos, especialmente observados na estação seca e na vegetação herbácea.

Entre os principais indicadores derivados do SR, podem ser destacados os Índices de Vegetação (IVs), com destaque para o NDVI, que é amplamente utilizado na estimativa de biomassa vegetal. Vários estudos mostram que valores elevados de NDVI estão fortemente relacionados à presença de vegetação densa e vigorosa, sendo, portanto, um indicador eficaz da qualidade das pastagens. De forma complementar, o EVI apresenta melhor desempenho em áreas com vegetação densa, pois minimiza os efeitos do solo e da atmosfera.

De acordo com Oliveira (2019), muitos estudos sobre sensoriamento remoto voltados para o monitoramento da vegetação utilizam índices de vegetação (IVs), para que possa efetuar uma melhor análise e interpretação dos resultados, pois os IVs dizem respeito as transformações adimensionais, que são calculadas através de relações matemáticas sobre os dados provenientes de diferentes bandas espectrais.

Além disso, a integração do uso de técnicas de sensoriamento remoto com o uso de modelagem matemática e de algoritmos de aprendizado de máquina, conhecido como machine learning, tem possibilitado estimativas mais precisas da biomassa. Passos (2021) cita sobre o aumento no uso de softwares, equipamentos automatizados e mais precisos que estão na vanguarda da inteligência artificial no setor agropecuário, já outros autores como Reinermann et al. (2020) e Nisieimon (2020), citam que tais modelos ainda enfrentam limitações relacionadas à variabilidade tanto espacial quanto temporal nas áreas de pastagens e à complexidade das variáveis que estão envolvidas. Sendo assim, a calibração com dados de campo segue sendo essencial para garantir a acurácia dessas estimativas.

Portanto, os dados obtidos na revisão de literatura indicam que a adoção de IVs como NDVI e EVI, aliados ao sensoriamento remoto e a técnicas de modelagem, constitui uma abordagem promissora para o monitoramento e manejo de pastagens. Ao permitir diagnósticos precoces da degradação, essa abordagem pode determinar medidas de recuperação e melhor manejo dessas áreas. Dessa forma, a análise das referências demonstra que a determinação da biomassa vegetal por meio de IVs e SR é não apenas viável, mas muito importante para promover maior eficiência na produção pecuária, especialmente em regiões tropicais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho mostrou que a avaliação da biomassa de pastagens através da utilização de índices de vegetação, obtidos por meio de sensoriamento remoto, representa uma ferramenta bastante eficaz, rápida e que pode ser de baixo custo, mostrando que esses índices contribuem de forma significativa para o manejo sustentável das áreas de pastagens.

Pode se afirmar, portanto, que essa técnica permite aos pecuaristas informações precisas que contribuem para o manejo de pastagens de forma direta e racional, possibilitando a recuperação de áreas degradadas, bem como o aumento da produção de pastagens, sendo assim, ajuda no manejo possibilitando aumento em quantidade e em qualidade.

Além disso, a utilização do sensoriamento remoto para o cálculo e avaliação da biomassa através dos índices de vegetação é de extrema importância, visto que essa técnica contribui para a sustentabilidade dos sistemas produtivos, como na preservação dos recursos naturais, evitando impactos negativos sobre o meio ambiente, reduzindo a degradação do solo e da vegetação, com erosões, assoreamentos e emissão de gases de efeito estufa.

Portanto, a utilização do sensoriamento remoto e dos índices de vegetação se mostram eficazes e auxiliam no manejo dos sistemas agrícolas, resultando em uma pecuária mais produtiva, eficiente e sustentável.

O desafio do uso de SR e IVs está na ampliação do acesso a essas tecnologias pelos produtores e também na capacitação técnica para realizar a interpretação e utilizar de forma adequada os dados adquiridos, trabalhando desde a aquisição processamento, tratamento e análise dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. Q.; SILVA, G. F. PEZZOPANE, J. E. M.; RIBEIRO, C. A. D. Enhanced Vegetation Index (EVI) na análise da dinâmica da vegetação da reserva biológica de Sooretama, ES. **Revista Árvore**, v. 32, n. 6, p. 1099-1107, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000600015>>. Acesso em: 20 ago. 2025.
- ALVES, K. M. **Métodos para estimar a massa e a composição morfológica da forragem em dosséis de capim-marandu**. 2017. 28p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Zootecnia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/25372>>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- AMORIM, J. G. A.; SCHREIBER, L. V.; SOUZA, M. R. Q.; NEGREIROS, M.; SUSIN, A.; BREDEMEIER, C.; TRENTIN, C.; VIAN, A. L.; ANDRADES-FILHO, C. O.; DOERING, D.; PARRAGA, A. Biomass estimation of spring wheat with machine learning methods using UAV-based multispectral imaging, **International Journal of Remote Sensing**, v. 43, n. 13, p. 4758-4773, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2107882>>. Acesso em 20 ago. 2025.
- BIASIOLO, R.; ZANELLA, P. G.; LOPES, C. F.; BARBOSA, A. M.; BALDISSERA, T. C.; PINTO, C. E.; GARAGORRY, F. C.; RIBEIRO-FILHO, H. M. N. Herbage intake by steers grazing in a natural grassland with predominance of *Andropogon lateralis* Nees managed under different canopy heights. **Ciência Rural**, v.51, n. 10, e20200696, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200696>>. Acesso em 25 ago. 2025.
- BONFIM-SILVA, E. M.; NUNES, J. A. S.; SILVA, T. J. A.; PACHECO, A. B. Initial growth of millet under bulk density levels in Oxisol of the Cerrado. **International Journal of Current Research**. v. 8, n. 07, p.34793-34798, 2016. Disponível em: <<https://www.journalcra.com/article/initial-growth-millet-under-bulk-density-levels-oxisol-cerrado>>. Acesso em: 26 ago. 2025.
- BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M.; RESENDE, R. M. S.; ZIMMER, A. H.; ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M. **Recuperação de pastagens degradadas**. In: NOBRE, M. M.; OLIVEIRA, I. R. de (Ed.). Agricultura de baixo carbono: tecnologias e estratégias de implantação. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 105-138. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1101768>>. Acesso em 20 mai. 2025.
- CARVALHO, R. C. R.; ATHAYDE, A. A. R.; VALERIANO, A. R.; MEDEIROS, L. T.; PINTO, J. C. Método de determinação da disponibilidade de forragem. **Ciência et Praxis**, v. 1, n. 2, p. 7-10, 2008. Disponível em: <<https://revista.uemg.br/praxys/article/view/2079>>. Acesso em 25 jul. 2025.
- CEZAR, I. V.; QUEIROZ, H. P.; THIAGO, L. R. L. S.; CASSALES, F. L. G.; COSTA, F. P. **Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate**. Campo Grande, MS; Embrapa Gado de Corte, 2005. 40p. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/326307>>. Acesso em 26 mai. 2025.
- COLLETO, L. C. D.; GALDINO, S.; OLIVEIRA, J. E. S.; BARROSO, P. A. V. **Estimativa do NDVI utilizando imagens do Sentinel-2 e do SIG SNAP para avaliação de estádios de degradação de pastagens em Alcínópolis-MS**. In: 14º Congresso Interinstitucional de

Iniciação Científica – CIIC. **Anais...** Campinas. 2020. 11p. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1126290>>. Acesso em: 20 mai. 2025.

CRUZ, N. T.; PIRES, A. J. V.; FRIES, D. D.; JARDIM, R. R.; SOUSA, B. M. L.; DIAS, D. L. S.; BONOMO, P.; RAMOS, B. L. P.; SACRAMENTO, M. R. S. V. Fatores que afetam as características morfogênicas e estruturais de plantas forrageiras. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, e5410716180, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16180>>. Acesso em: 30 mai. 2025.

DIAS FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: conceitos, processos e estratégias de recuperação e de prevenção**. Belém: Ed. do Autor, 2023. 61p. Disponível em: <<https://diasfilho.com.br/degradacao-de-pastagens/>>. Acesso em: 23 mai. 2025.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4.ed. 2ª impressão correções e revisão. Belém: Ed. do Autor, 2015. 216p.

DIM, V. P.; ALEXANDRINO, E.; SANTOS, A. C.; MENDES, R. S.; SILVA, D. P. Características agronômicas, estruturais e bromatológicas do capim Piatã em lotação intermitente com período de descanso variável em função da altura do pasto. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.16, n.1, p.10-22, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402015000100002>>. Acesso em 20 mai. 2025.

EOS DATA ANALYTICS. **NDVI FAQ: Tudo o que você precisa saber sobre o índice**. 2023. Disponível em: <[https://eos.com/pt/blog/ndvi-faq/#:~:text=Seu%20c%C3%A1culo%20se%20faz%20com,%C3%A9%20uma%20luz%20vermelha%20vis%C3%ADvel.](https://eos.com/pt/blog/ndvi-faq/#:~:text=Seu%20c%C3%A1culo%20se%20faz%20com,%C3%A9%20uma%20luz%20vermelha%20vis%C3%ADvel.>)>. Acesso em: 14 jun. 2025.

EOS DATA ANALYTICS. **Índices de vegetação para impulsionar soluções digitais**. 2025. Disponível em: <<https://eos.com/pt/blog/indices-de-vegetacao/>>. Acesso em 14 jun. 2025.

FAVA, F.; COLOMBO, R.; BOCCHI, S.; MERONI, M.; SITZIA, M.; FOIS, N.; ZUCCA, C. Identification of hyperspectral vegetation indices for Mediterranean pasture characterization. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, n. 4, p. 233-243, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.02.003>>. Acesso em: 26 mai. 2025.

FERNANDES, J. C.; BUZETTI, S.; DUPAS, E.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; ANDREOTTI, M. **Sources and rates of nitrogen fertilizer used in Mombasa guineagrass in the Brazilian Cerrado region**. African Journal of Agricultural Research, v. 10, n. 19, p. 2076-2082, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.5897/AJAR2014.9276>>. Acesso em 20 jun. 2025.

FREITAS, R. G. **Estimativa da produção de pastagem cultivada utilizando índices de vegetação e variáveis de texturas a partir de imagens de drone**. 2021. 58p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2021. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1162051>>. Acesso em: 27 mai. 2025.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p.195-213, 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)>. Acesso em: 20 ago. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – **Pesquisa da Pecuária Municipal**. 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939#resultado>>. Acesso em: 25 mai. 2025.

JENSEN, J. **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. 2ª Ed. Pearson Education, 2009. 592p.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n.2, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.959>>. Acesso em: 27 mai. 2025.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G DE; ARAÚJO, A. R. Degradação de Pastagens, Alternativas de Recuperação e Renovação, e Formas de Mitigação. In: ENCONTRO DE ADUBAÇÃO DE PASTAGENS DA SCOT CONSULTORIA - TEC - Fértil, 1, 2013, Ribeirão Preto-SP. **Anais...** Bebedouro: Scot Consultoria, 2013. p. 158-181. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/976514>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - **Nota nº 08-2021/CGAPI/DCI/SPA/MAPA - 09 de abril de 2021**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/valor-da-producaoagropecuaria-de-2021-e-12-4-maior-que-ano-passado/Nota202108VBP11.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2025.

NAKAI, E. S.; VETTORAZZI, C. A. Aplicação do sensoriamento remoto na estimativa de biomassa de gramíneas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR, 23., 2017, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017. p. 1510-1517. Disponível em: <<http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP6W34M/3PS4GR5>>. Acesso em: 27 mai. 2025.

NISIEIMON, V. H. **Estimativa de biomassa de pastagem utilizando técnicas de seleção de atributos e aprendizagem de máquina a partir de imagens do Sentinel-2**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Agrícolas). 2020. 43 f. Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP, Campinas, 2020. Disponível em: <<https://www.repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1257783>>. Acesso em: 15 jun. 2025.

NUNES, J. A. S.; MARCHESAN, E.; GIACOMINI, S. J.; GROHS, M.; TASCHETTO, A. M.; FORTUNA, C. R.; SOARES, C. F.; FLECK, A. G.; DONATO, G. Emission of greenhouse gases and yield-scaled global warming potential of rice cultivars under permanent and intermittent irrigation. **Bragantia**, v. 81, e2122, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210309>>. Acesso em: 26 ago. 2025.

OLIVEIRA, L. M. **Estudo da sensibilidade de índices de vegetação hiperespectrais aos efeitos topográficos usando a correção-c**. 2019. 89p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2019. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/06.24.12.02>>. Acesso em: 27 ago. 2025.

OLIVEIRA, M. T.; CASSOL, H. L. G.; GANEM, K. A.; DUTRA, A. C.; PRIETO, J. D.; ARAI, E.; SHIMABUKURO, Y. E. Mapeamento da Vegetação do Cerrado - Uma Revisão das Iniciativas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, n. Especial 50 anos, p. 1250-1274, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.14393/rbcv72nespecial50anos-56591>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

OTGONBAYAR, M.; ATZBERGER, C.; CHAMBERS, J.; DAMDINSUREN, A. Mapping pasture biomass in Mongolia using Partial Least Squares, Random Forest regression and Landsat 8 imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 40, n. 8, p. 3204–3226, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1541110>>. Acesso em: 20 ago. 2025.

- PASSOS, A. O. **Índices de reflectância, NDVI e EVI como indicadores de níveis de degradação das pastagens tropicais**. Tese (Doutorado em Agronomia – Ciência do Solo). 2021. 52 f. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Jaboticabal, 2021. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/210915>>. Acesso em 29 mai. 2025.
- PINGUELLO, A. J. C.; MONGELLI, M. S.; FARIA, P. H. A.; TAMEIRÃO, E. R.; GONZAGA, L. W. F.; FERRANTE, M.; FERNÁNDEZ, F. E. Uso de índice de vegetação da diferença normalizada na estimativa de produção de forragem. **Pubvet**, v. 14, n. 3, p. 1–7, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n3a538.1-7>>. Acesso em 20 jul. 2025.
- PREY, L.; HU, Y.; SCHMIDHALTER, U. High-throughput field phenotyping traits of grain yield formation and nitrogen use efficiency: optimizing the selection of vegetation indices and growth stages. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-20, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01672>>. Acesso em: 02 ago. 2025.
- REINERMANN, S.; ASAM, S.; KUENZER, C. Remote sensing of grassland production and management-A review. **Remote Sensing**, v. 12, n. 12, 1949. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs12121949>>. Acesso em 25 ago. 2025.
- ROCHA, A. K.; ALVES, C. P.; SILVA, J. N.; SILVA, T. G. F.; LEITE, M. L. M. V.; CIRINO JUNIOR, B. Principais ecossistemas usados como pastagem nativa do Brasil: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n.10, e3859108592, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i10.8592>>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- ROQUE, V. H. M. **Sistema microcontrolado para monitoramento de índice de vegetação (NDVI) em áreas de pastagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). 2024. 105 f. Escola de Engenharia – UFRGS, Porto Alegre, 2024. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/280753>>. Acesso em: 15 jun. 2025.
- ROUSE J. W.; HAAS R. H.; SCHELL J. A.; DEERING D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1974, Greenbelt. **Proceedings...** Washington, D.C: NASA, 1974. p. 301-317. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>>. Acesso em: 27 ago. 2025.
- SAMPAIO, H. S.; BOURSCHEIDT, V.; SARRACINI, L. H.; JORGE, L. A. C.; BETTIOL, G. M.; BERNARDI, A. C. C. Comparação entre índices de vegetação obtidos por imagens aéreas com veículo aéreo não tripulado (VANT) e satélite. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 14, n. 2, p. 111-124, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.18011/bioeng2020v14n2p111-124>>. Acesso em: 26 mai. 2025.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1-4, p. 113-124, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10661-009-0988-4>>. Acesso em: 02 jun. 2025.
- SANTOS, A. P. S.; PIRES, A. J. V.; FRIES, D. D.; DIAS, D. L. S.; BONOMO, P.; JARDIM, R. R.; SEIXAS, A. A.; ROSSA, F.; SANTOS, C. P. S.; CRUZ, N. T.; PAIVA, L. S. Métodos de avaliação de pastagem: uma breve revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16, e52101622864, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i16.22864>>. Acesso em: 25 ago. 2025.
- SCHUH, M. S. **Estimativa da biomassa acima do solo em floresta de terra firme na Amazônia com dados LIDAR aerotransportado e upscaling com imagens orbitais**. 2023. 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria,

- Centro de Ciências Rurais, Santa Maria. 2023. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/30289>>. Acesso em: 27 mai. 2025.
- SERRANO, J. M.; SHAHIDIAN, S.; SILVA, J. R. M. Monitoring pasture variability: optical OptRx® crop sensor versus Grassmaster II capacitance probe. **Environmental Monitoring and Assessment**, 188, p.1-17, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s10661-016-5126-5>>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- SILVA, C. A.; PRANDINI, M. K.; CORREA, A. O. A drone diagnosis of the environmental quality of the restinga on the south coast of Brazil. **Ocean and Coastal Research**, v. 72, n. 1, e24005, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/2675-2824071.23059>>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- SILVA, L. V.; CÂNDIDO, M. J. D.; PESSOA, J. P. M.; CAVALCANTE, A. C. R.; CARNEIRO, M. S. S.; SILVA, A. N. Componentes da biomassa e características estruturais em capim-aruaa sob diferentes frequências e intensidades de desfolhação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.12, p.1192-1200, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015001200009>>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- SOUZA, J. P.; TOWNSEND, C. R.; ARAÚJO, S. R. C.; OLIVEIRA, G. A. Características morfogênicas, estruturais e agronômicas de gramíneas tropicais: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, e942986588, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6588>>. Acesso em: 15 mai. 2025.
- TONIOL, A. C.; GALVÃO, L. S.; PONZONI, F. J.; SANO, E. E.; DE JESUS AMORE, D. Potential of hyperspectral metrics and classifiers for mapping Brazilian savannas in the rainy and dry seasons. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 8, p. 20–29, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.07.004>>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- VALLE JÚNIOR, R. F.; SIQUEIRA, H. E.; VALERA, C. A.; OLIVEIRA, C. F.; FERNANDES, L. F. S.; MOURA, J. P.; PACHECO, F. A. L. Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 14, p. 20-33, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2019.02.001>>. Acesso em: 15 jun. 2025.
- YAO, L.; LU, R.; WU, S.; JIANG, X.; ZHU, Y.; CAO, W.; NI, J. Design and testing of an active light source apparatus for crop growth monitoring and diagnosis. **IEEE Access**, v. 8, p. 206474–206490, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3037966>>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- ZANINE, A. D. M.; SANTOS, E. M.; FERREIRA, D. J. Principais métodos de avaliação de pastagens. **Revista Electrónica de Veterinaria REDVET**, v. 7, n. 11, p. 1-13, 2006. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/636/63612653032.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2025.
- ZHANG, B.; ZHANG, L.; XIE, D.; YIN, X.; LIU, C.; LIU, G. Application of Synthetic NDVI Time Series Blended from Landsat and MODIS Data for Grassland Biomass Estimation. **Remote Sensing**, v. 8, n.1, p. 1-21, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/rs8010010>>. Acesso em: 15 mai. 2025.