

Análise dos sistemas agroflorestais pelo índice espectral de vegetação em assentamento rural

Débora Guerreiro de Oliveira Silva  

Universidade Federal Fluminense (UFF) – Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

e-mail: debora_guerreiro@id.uff.br

Cristiane Nunes Francisco  

Universidade Federal Fluminense (UFF) – Niterói, Rio de Janeiro, Brasil.

e-mail: cristianenf@id.uff.br

Antonio Carlos Pries Devide  

Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – Pindamonhangaba, São Paulo, Brasil.

e-mail: antonio.devide@sp.gov.br

Resumo

Diante da urgência em implementar ações contra o desmatamento e a fragmentação florestal, os sistemas agroflorestais (SAF) têm ganhado destaque como medida para recuperação e conservação da biodiversidade, promovendo os benefícios associados aos serviços ecossistêmicos. Para a avaliação e o monitoramento de paisagens degradadas em processo de regeneração, os índices de vegetação são amplamente utilizados, devido à sua capacidade de aferir propriedades qualitativas e quantitativas da cobertura vegetal. Neste contexto, este trabalho aplica o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) com o objetivo de analisar, ao longo do ano de 2022, a resposta vegetativa no Assentamento Nova Esperança I, localizado no município de São José dos Campos (SP), que apresenta experiências com SAF. Verificou-se que as áreas florestadas e as parcelas com SAF apresentaram os maiores valores de NDVI da área de estudo, além de sofrerem a menor redução do índice durante o período de estiagem. Os resultados sugerem que os SAF são mais resilientes às variações de pluviosidade, favorecendo a manutenção da cobertura vegetal, e que o método adotado é uma ferramenta eficaz para a avaliação de sistemas agroflorestais.

Palavras-chave: Sistemas Agroflorestais (SAF); NDVI; áreas protegidas; serviços ecossistêmicos; sensoriamento remoto.

Analysis of agroforestry systems by vegetation spectral index in rural settlement

Abstract

Given the urgency of implementing actions against deforestation and forest fragmentation, Agroforestry Systems (SAF) have gained prominence as a strategy for the recovery and conservation of biodiversity, promoting the benefits associated with ecosystem services. For the assessment and monitoring of degraded landscapes undergoing regeneration, vegetation indices are widely used due to their ability to measure both qualitative and quantitative aspects of vegetation cover. In this context, this study applies the Normalized Difference



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons - Atribuição 4.0 Internacional.

Vegetation Index (NDVI) to analyze, throughout the year 2022, the vegetative response in the Nova Esperança I Settlement, located in the municipality of São José dos Campos, São Paulo, which includes experiences with SAF. It was observed that forested areas and parcels with SAF showed the highest NDVI values in the study area and experienced the least reduction in the index during the dry season. The results suggest that SAF are more resilient to rainfall variation, favoring the maintenance of vegetation cover, and that the method adopted is an effective tool for the assessment of agroforestry systems.

Keywords: Agroforestry Systems (AFS); NDVI; protected areas; ecosystem services; remote sensing.

Análisis de sistema agroforestal mediante el índice espectral de vegetación en un asentamiento rural

Resumen

Ante la urgencia de implementar acciones contra la deforestación y la fragmentación forestal, los Sistemas Agroforestales (SAF) han ganado protagonismo como estrategia para la recuperación y conservación de la biodiversidad, promoviendo los beneficios asociados a los servicios ecosistémicos. Para la evaluación y el monitoreo de paisajes degradados en proceso de regeneración, los índices de vegetación se utilizan ampliamente debido a su capacidad para medir aspectos cualitativos y cuantitativos de la cobertura vegetal. En este contexto, el presente estudio aplica el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) con el objetivo de analizar, a lo largo del año 2022, la respuesta vegetativa en el Asentamiento Nova Esperança I, ubicado en el municipio de São José dos Campos, São Paulo, el cual presenta experiencias con SAF. Se observó que las áreas boscosas y las parcelas con SAF presentaron los valores más altos de NDVI en el área de estudio, además de mostrar la menor reducción del índice durante el período de sequía. Los resultados sugieren que los SAF son más resilientes a las variaciones en la pluviosidad, favoreciendo el mantenimiento de la cobertura vegetal, y que el método adoptado constituye una herramienta eficaz para la evaluación de sistemas agroforestales.

Palabras-clave: Sistemas Agroforestales (SAF); NDVI; áreas protegidas; servicios ecosistémicos; teledetección.

Introdução

A superexploração dos recursos naturais globais impacta severamente na perda da biodiversidade. A conversão de florestas para áreas antropizadas deriva do crescimento urbano e expansão de infraestrutura como estradas, oleodutos e represas, somados à especulação imobiliária (Joly *et al.*, 2014). No entanto, particularmente em países como o Brasil, a conversão se dá também para pastagens e florestas plantadas (Chaudhary *et al.*, 2016). Neste sentido, a importância da agricultura, seja pelo seu impacto em ambientes naturais, seja pela dependência da população humana, leva à necessidade de estudos para o entendimento da relação entre práticas agropecuárias, restauração florestal e conservação dos fragmentos.

ANÁLISE DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS PELO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ESPECTRAL EM ASSENTAMENTO RURAL

Na Mata Atlântica, o cenário é bastante preocupante, pois os impactos dos ciclos econômicos nesse bioma desde o período colonial deram origem aos remanescentes que correspondem apenas a 12,4% do bioma original (Fundação SOS Mata Atlântica, 2022), caracterizados por um conjunto de fragmentos de diversos tamanhos situados em matrizes de áreas degradadas, pastagem, agricultura e áreas urbanas (Joly *et al.*, 2014). Além da degradação da biodiversidade, solos e recursos hídricos, bem como a aniquilação de culturas de povos tradicionais, esse modelo de desenvolvimento gera dependência e insegurança alimentar a milhares de famílias rurais e urbanas no Brasil (Altieri; Petersen, 2012).

No estado de São Paulo, parte dos fragmentos florestais está inserida em imóveis rurais públicos ou privados, assentamentos da reforma agrária e áreas de povos e comunidades tradicionais (Sicar, 2022). Nessa perspectiva, é primordial que a assistência técnica e extensão rural traga consigo soluções para o cultivo e a restauração em solos degradados, colocando foco nas pequenas propriedades localizadas em áreas sensíveis do ponto de vista ecológico (Gavioli, 2017). Com a alocação de recursos financeiros, a proposição de manejo agrícola ecológico, além de reduzir o uso de agroquímicos, estimula o conhecimento tradicional local, a organização social e a vida comunitária (Devide *et al.*, 2020).

Por representarem um modelo eficiente e natural de plantio saudável e sustentável, os sistemas agroflorestais (SAF) têm sido considerados relevantes para a recuperação da biodiversidade em áreas passíveis de restauração, tanto em regiões temperadas, quanto tropicais (Jose, 2009). De acordo com o Decreto nº 7.830/2012, em seu Art. 2º, os SAF são definidos como o manejo de plantas lenhosas perenes em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas e forrageiras, obtendo alta diversidade de espécies e interações entre seus componentes (Brasil, 2012a). Neste decreto também são definidas as normas para o consórcio e o uso de espécies lenhosas exóticas e frutíferas para a restauração das Reservas Legais (RL) e Áreas Preservação Permanente (APP), instituída pela Lei nº 12.651/2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa (Brasil, 2012b). A Lei da Mata Atlântica - Lei nº 11.428/2006, em seu Artigo 3º, considera como de interesse social as atividades de manejo agroflorestal sustentável que não prejudiquem a função ambiental (Brasil, 2006). Ademais, deve ser destacado que o referido arcabouço legal enfatiza a importância do pequeno produtor rural na medida em que o indica como um agente para a recomposição da vegetação sem que prejudique sua atividade produtora.

A utilização de árvores no sistema produtivo impacta de modo benéfico o ambiente, pois promove os principais serviços ecossistêmicos presentes em sistemas não antropizados (Vasconcellos; Beltrão, 2017), entre eles: o aumento do armazenamento do

carbono (Cardoso *et al.*, 2015) e da produção de biomassa (Martins *et al.*, 2013); alta diversidade e quantidade de organismos da fauna edáfica, que auxiliam na mobilização dos nutrientes para o desenvolvimento das plantas, além de favorecer a diversidade vegetal e a conservação do solo pela disponibilidade de matéria orgânica (Primavesi, 2008). Acrescenta-se, ainda, que as árvores potencializam a ciclagem de nutrientes e, especialmente, as leguminosas, favorecem a fixação biológica do nitrogênio, bem como a regulação natural de infestações danosas de insetos (Wezel, 2013), o que reduz os custos no manejo da lavoura. Por fim, sob o ponto de vista hidrológico, os SAF propiciam a maior taxa de infiltração da água e menor erosão do solo (Perez-Marin; Menezes, 2008; Balbino *et al.*, 2011), reduz o escoamento superficial e aumenta, assim, a disponibilidade de água em bacias hidrográficas (Tobella *et al.*, 2014).

A introdução dos SAF nos assentamentos da reforma agrária localizados no Vale do Paraíba do Sul ocorreu em 2013 a partir de mutirões organizados pela Rede Agroflorestal do Vale do Paraíba (Rede Agroflorestal). No Assentamento de Reforma Agrária Nova Esperança I, em São José dos Campos, SP, os SAF também têm representado um meio para a inclusão social das famílias camponesas. Essas ações, ao redefinir o uso e a ocupação do solo, se apresentam como mecanismos de restauração da paisagem e reforça a segurança alimentar e econômica de populações vulneráveis (Devide *et al.*, 2020).

Esse sistema agrícola concilia os fins produtivos aos interesses da restauração florestal (Padovezi *et al.*, 2018) e, ao ser conduzido por base metodológica e princípios da agroecologia, permite que o meio rural produza alimentos saudáveis de maneira integrada com a cidade, trazendo melhorias difusas para toda a sociedade (Altieri, 2010). Dessa forma, por se tratar de alternativa para a reconstrução de sistemas agrícolas e agroindustriais apoiada numa estratégia territorializada (Altieri; Nicholls, 2021), é de suma importância a realização de estudos locais para o monitoramento da qualidade do ambiente e da eficiência da conservação decorrente da implantação dos SAF.

Os sensores remotos espectrais constituem uma notável ferramenta para esses estudos, pois são capazes de detectar o desenvolvimento de sistemas biodiversos florestais e agrícolas, bem como os inúmeros parâmetros influenciados por meio do manejo e fatores externos (Shanmugapriya *et al.*, 2019; Lechner *et al.*, 2020).

São inúmeras as informações que podem ser extraídas dos produtos dos sensores remotos, entre elas: indicadores de áreas de risco na paisagem urbana, levantamento de extensão dos cursos d'água, discriminação de tipos de culturas agrícolas (Jensen, 2009). No caso específico da vegetação, podem ser feitos cálculos de índices de vegetação para quantificação das taxas de absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes e, desta forma, utilizar modelos matemáticos para estimar a produção agrícola, combater o

ANÁLISE DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS PELO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ESPECTRAL EM ASSENTAMENTO RURAL
desflorestamento, monitorar a vegetação, além de gerar inventários florestais e mapeamentos da cobertura da terra (Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2012; Lechner; Foody; Boyd, 2020).

Dessa forma, considerada a capacidade dos SAF para a recuperação e a conservação da biodiversidade, bem como dos índices de vegetação para aferir as propriedades da cobertura vegetal, este trabalho tem como objetivo analisar a resposta vegetativa da cobertura da terra em pequenas unidades agrícolas que façam uso e não uso dos SAF. A área de estudo é o Assentamento Nova Esperança I, situado no município de São José dos Campos - SP. Para a análise, foi calculado o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) para dois períodos: um correspondente ao excedente hídrico e outro ao estresse hídrico do ano de 2022.

Procedimentos Metodológicos

Área de estudo

O assentamento de reforma agrária é definido como um conjunto de unidades agrícolas, instaladas pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) em um imóvel rural. Cada unidade ou lote é destinado a uma família ou trabalhador rural sem condições econômicas de adquirir um imóvel rural, que deve residir e explorar o lote, com o desenvolvimento de atividades produtivas diversas utilizando mão-de-obra familiar. Além das unidades, há também áreas de uso comunitário e locais de preservação ambiental. Cada parcela demanda benefícios de todas as esferas de governo, como escolas, estradas, créditos, assistência técnica, saúde e outros (Incra, 2020).

A homologação do Assentamento Nova Esperança ocorreu em 2002, compreendendo uma área de 447 ha, composta por 63 lotes em média de 5 ha, distante 13 km do centro de São José dos Campos, na divisa com o município de Caçapava, estado de São Paulo. Esta área abrange a região do Vale Paraíba do Sul, localizada no perímetro rural na Macrozona de Desenvolvimento Sustentável do Plano Diretor de São José dos Campos (São José dos Campos, 2018).

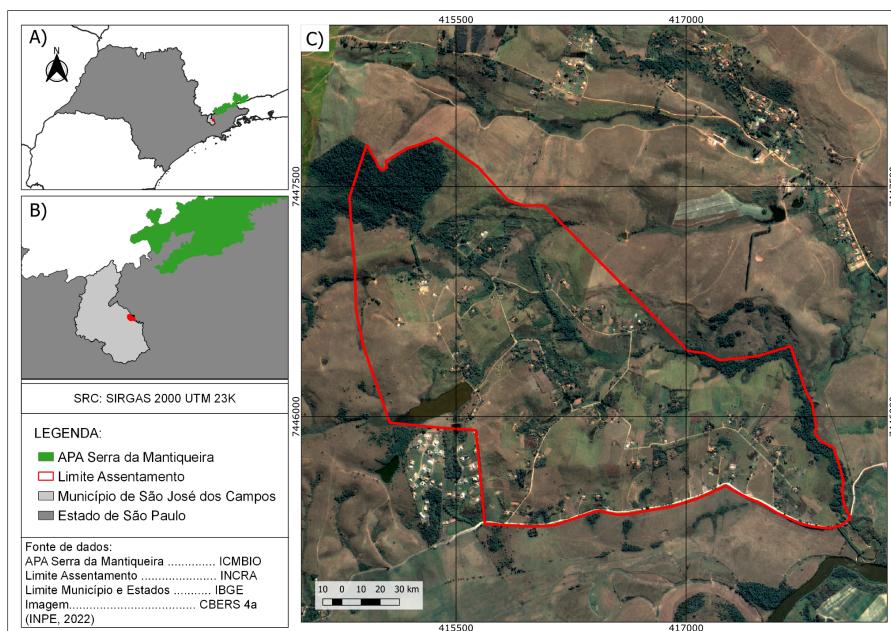
O processo de construção e luta do Assentamento Nova Esperança iniciou-se em 1997, com uma ocupação na cidade de Tremembé, localizada a 60 km de São José dos Campos. Após outras duas ocupações e uma reintegração de posse, 180 famílias que estavam acampadas na Fazenda Santa Rita, em São José dos Campos, foram finalmente homologadas no ano de 2001. Grande parte das famílias era originária de periferias urbanas, e a resistência e luta pela terra representavam, apesar das dificuldades, uma alternativa ao desemprego e à falta acesso à moradia (Mota, 2011; Devide *et al.*, 2020).

Durante a implantação do assentamento, o INCRA classificou a antiga fazenda como improdutiva. Na área majoritariamente coberta por pastagens e pequenos fragmentos de vegetação arbórea degradada nas baixadas úmidas e mata ciliar (APP), havia apenas um remanescente de floresta na porção distal (RL).

Durante a construção do assentamento, as famílias receberam o apoio de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER) por parte da Igreja Católica, Central Única dos Trabalhadores (CUT), sindicatos, partidos políticos e prefeitura. Inicialmente, as experiências coletivas incluíram plantios convencionais, como milho e feijão, que logo foram abandonados devido à degradação do solo. A partir de 2012, a Rede Agroflorestal do Vale do Paraíba organizou mutirões para compartilhar conhecimentos, sementes e mudas, além de executar um projeto de regeneração florestal onde previa a implantação de 32 áreas de SAF em assentamentos da região. Posteriormente, parcerias entre a Fundação Instituto de Terras do Estado de São Paulo (ITESP) e a Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) promoveram práticas de produção regenerativa, como a adubação verde e o cultivo de variedades de mandioca resistentes e ricas em carotenóides pró-vitamínicos. Assim, iniciou-se um trabalho pedagógico-científico com os agricultores, integrando a agroecologia e a ciência cidadã por meio do plantio de hortaliças, frutíferas, policultivo de mandioca e SAF.

No assentamento, os SAF existentes são variados e, até mesmo dentro de uma mesma unidade, podem ocorrer diferentes tipos de sistemas, tais como: espécies agrícolas consorciadas entre linhas com espécies florestais nativas ou espécies fixadoras de biomassa e/ou nitrogênio; consórcio de diferentes tipos de hortaliças; e ainda o policultivo multi-estratificado, no qual se associam diferentes espécies a fim de criar estratos verticais.

Por fazer parte da Bacia do Rio Paraíba do Sul (São Paulo, 2022), principal manancial de abastecimento das regiões metropolitanas do Rio de Janeiro e São Paulo, além das cidades fluminenses, paulistas e mineiras localizadas ao longo do curso principal, possui grande destaque para a conservação biológica e a economia na Região Sudeste e do país. Além disso, o assentamento está localizado a 12 km da Área de Proteção Ambiental (APA) do Banhado e 30 km da APA Serra da Mantiqueira (Figura 1).

Figura 1: Mapa de localização do Assentamento Nova Esperança I.

Fonte: Autores (2023).

De acordo com o sistema de classificação climática elaborado por Novais & Galvani (2022), a região rural de São José dos Campos se insere na unidade climática Tropical ameno semiúmido meridional e de subtipo climático das Escarpas da Serra da Mantiqueira (Tabela 1). Apresenta precipitação anual de 1.195 mm a 1.805 mm, com quatro a cinco meses secos, ou seja, volume pluviométrico menor que a evapotranspiração potencial (ETP).

Tabela 1: Características da unidade climática da região de São José dos Campos.

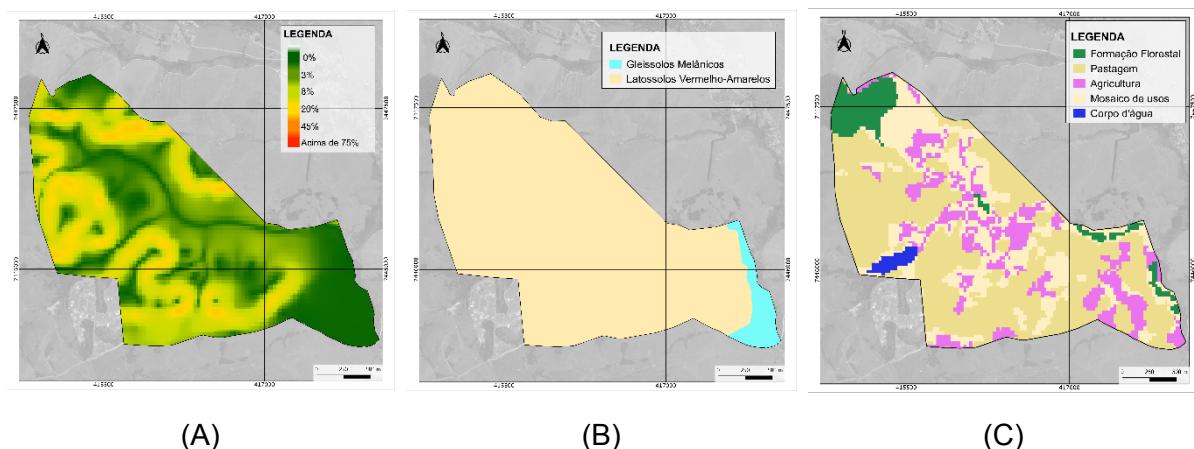
Altitude (m)	Precipitação Média Anual (mm)	ETP Média Anual (mm)	Excedente Hídrico Anual (mm)	Déficit Hídrico Anual (mm)	Meses Secos (P-ETP)
650 - 1.200	1.195-1.805	705 -1.175	420 - 1.475	0 - 45	4 - 5

Fonte: Novais; Galvani (2022).

O Assentamento Nova Esperança está localizado em relevo ondulado (8-20%) a forte ondulado (20-45%), que corresponde a 95% da área total, enquanto o restante da área possui relevo plano (0-3%) (Figura 2A). Nas encostas, predomina o solo Latossolo Vermelho-Amarelo, enquanto os Gleissolos Melânicos estão presentes nas baixadas (Figura 2B). O assentamento é coberto por pastagens, cultivos agrícolas e vegetação arbórea nas encostas e nas baixadas (Figura 2C). O único remanescente de Floresta Estacional

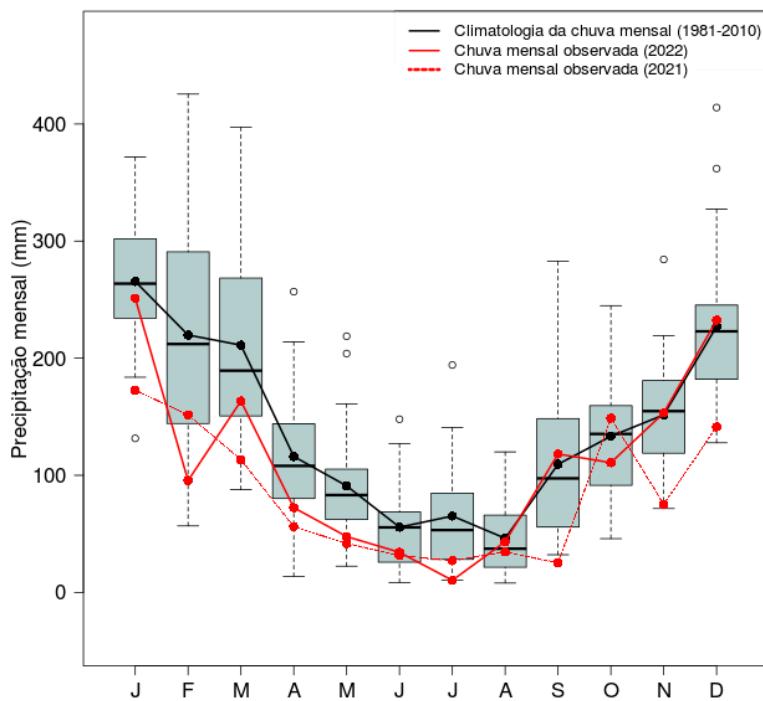
Semidecidual, localizado a noroeste do assentamento, corresponde a RL de todas as parcelas assentadas. Em algumas unidades, ocorre o plantio de monoculturas de espécies convencionais, como milho e soja, com a fase de cultivo e crescimento ocorrendo no período de verão, enquanto a colheita ocorre no inverno.

Figura 2: Mapas temáticos do assentamento: Declividade (A); Pedológico (B); Uso e Cobertura da Terra (C).



Fonte: CPLA/SMA (2013); Rossi, (2017); Projeto MapBiomas (2023).

Teramoto *et al.* (2018) demonstraram que o NDVI está correlacionado com a umidade do solo na zona radicular das plantas com a defasagem de 47 dias entre a ascensão do nível d'água e o início da estação de crescimento, identificada pelo índice de vegetação. Dessa forma, a escolha das imagens do ano de 2022 para o cálculo do NDVI foi feita com base na análise da precipitação, disposta no pluviograma referente ao período de 1981 a 2010 (INPE, 2022) da região 114 do estado de São Paulo, entre as latitudes 22,5°S e 25°S e as longitudes 45°W e 47,5°W, onde está situada a área de estudo (Figura 3).

Figura 3: Pluviograma da região 114 do estado de São Paulo.

Fonte: Adaptado de INPE (2022).

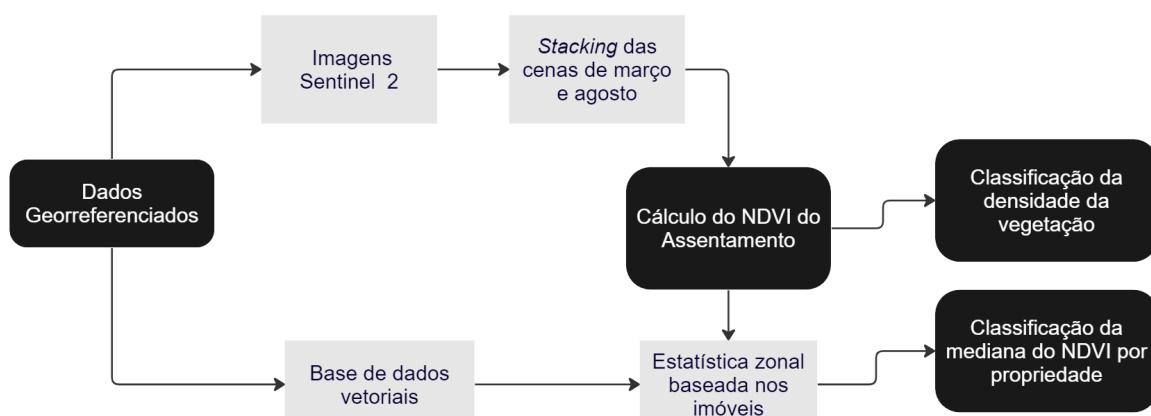
Verifica-se que o período de estiagem se estende de abril a setembro, com precipitação média mensal abaixo de 120 mm, atingindo os menores valores entre junho e agosto. No restante dos meses, a média mensal está acima de 120 mm, alcançando valores maiores a 200 mm nos meses de dezembro a março, resultando em amplitude mensal máxima, diferença entre o mês mais chuvoso e seco, acima de 200 mm. Em 2022, o comportamento temporal das chuvas se mantém, no entanto pode ser considerado como um ano com tendência à estiagem, pois, no período de janeiro a agosto, o volume mensal está abaixo da média e, na metade dos meses, abaixo do primeiro quartil.

Assim, com base na análise do pluviograma, foram obtidas duas cenas do sistema orbital Sentinel 2, referentes ao *Level 2A* e cobertura de nuvem abaixo de 20%, uma correspondendo ao mês de março de 2022. Ou seja, no final do período de chuvas, e a outra do mês de agosto de 2022, referente ao período de estiagem, representando, respectivamente, o período de *superávit* e de *déficit* hídrico. As imagens *Level 2A* são produtos derivados da aplicação de algoritmos de pré-processamento de correção atmosférica e já convertidas para reflectância. Para o cálculo do NDVI, foram obtidas então as bandas do vermelho e infravermelho próximo com resolução espacial de 10 metros (ESA, 2022).

Métodos

A base de dados georreferenciados, constituída pelos arquivos vetoriais do assentamento em estudo e pelas imagens Sentinel 2, foi processada em uma plataforma de Sistema de Informações Geográficas (SIG) utilizando um *software* livre, de código aberto e gratuito, o QGIS 3.16, constituído por extensões (*plugins*) elaborados por usuários. A partir da extensão *Semi-Automatic Classification Plugin* versão 7.10.8, as bandas B4 (vermelho) e B8 (infravermelho próximo) foram adquiridas. Os procedimentos metodológicos aplicados neste trabalho estão expostos na Figura 4.

Figura 4: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



Fonte: Autores (2023).

Após aquisição das imagens Sentinel 2 para o Assentamento Nova Esperança, foi calculado o NDVI com a equação proposta por Rouse *et al.* (1973), que corresponde ao quociente da diferença entre a reflectância da banda do infravermelho próximo e a reflectância da banda do vermelho pela soma das duas bandas (Equação 1).

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

Onde o *Red* e *NIR* se referem à reflectância das bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, respectivamente.

A absorção da radiação eletromagnética pela ação dos pigmentos fotossintetizantes é realizada, quase que totalmente, na região do vermelho (0,65 a 0,72 μm), enquanto que, na região do infravermelho próximo (0,7 e 1,3 μm), devido às camadas das folhas das plantas, ocorre o espalhamento múltiplo que é captado em maior quantidade pelo sensor. Assim, a vegetação vigorosa apresenta alto contraste entre as bandas do *NIR* e o *Red* e,

ANÁLISE DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS PELO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ESPECTRAL EM ASSENTAMENTO RURAL através do cálculo, obtém-se o valor que está associado à atividade fotossintética da área analisada.

Quanto maior a densidade da cobertura vegetal, menor é a reflectância na região do visível, principalmente na faixa do vermelho, correspondente à radiação fotossinteticamente ativa (RFA), ou seja, a faixa do espectro da radiação solar responsável pela ativação da fotossíntese no tecido das plantas. Por outro lado, maior é a reflectância no infravermelho próximo, devido ao espalhamento múltiplo da radiação eletromagnética nas diferentes camadas das folhas das plantas (Jensen, 2009; Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2012).

Os valores de NDVI podem variar bastante entre as espécies, no entanto, também dependem do estágio de desenvolvimento da planta, além das especificidades da morfologia, composição, estrutura interna e fatores de estresse. Assim, o NDVI tem potencialidade para estimar a produção primária, monitorar as mudanças fenológicas e avaliar a saúde florestal e agronômica (Naue *et al.*, 2011; Silva *et al.*, 2019).

Seu resultado apresenta valores no intervalo entre -1 e 1 cujos valores negativos correspondem, em geral, a corpos d'água ou ausência de vegetação, enquanto valores mais próximos de 1 estão relacionados à maior quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa (Ponzoni; Shimabukuro; Kuplich, 2012). A partir deste índice, foram analisadas a densidade da cobertura e saúde da vegetação entre a estação chuvosa e a estação estiagem.

Com propósito de analisar o potencial dos SAF para a densidade e a conexão dos fragmentos florestais, foi calculada a estatística descritiva do NDVI para o todo assentamento e as suas 63 parcelas, a seguir, os índices foram classificados e a área de cada classe calculada. Além disso, os resultados foram também analisados com base em visitas de campo, com objetivo de reconhecer a paisagem e características do uso e cobertura da terra no assentamento, com enfoque no arranjo dos SAF desenvolvidos nas parcelas.

Resultados e Discussão

Como era esperado, no período chuvoso, os valores de NDVI foram maiores do que na estiagem (Figura 4): enquanto, no mês de março, o índice apresentou média de 0,45 e desvio padrão de 0,098, no mês de agosto, a média foi de 0,29 e desvio padrão de 0,095, o que corresponde a um decréscimo de 35% na média do NDVI. Em relação ao desvio padrão, verifica-se que é menor no mês de março, já que este corresponde a 22% da média, enquanto que, no mês de agosto, corresponde a 35% (Tabela 2).

Tabela 2: Estatística descritiva do conjunto de dados.

Mês/Medidas	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
Março (2022)	0,45	0,092	-0,16	0,66
Agosto (2022)	0,29	0,095	-0,17	0,59

Fonte: Autores (2023).

Estes resultados indicam a variabilidade intra-anual do aporte de biomassa da vegetação. Conforme já apontado, no período de pluviosidade reduzida, que se inicia no mês de abril e atinge a mínima no mês de agosto, o índice de vegetação é menor, enquanto, no período de chuvas, que se inicia em outubro e atinge o máximo em janeiro, o valor do NDVI é maior. Como as imagens são, respectivamente, do mês de março, fim do período chuvoso, e agosto, pico da seca, elas expressam a resposta da vegetação ao volume de chuva. No entanto, deve ser enfatizado que como o volume de chuvas nos meses de 2022, precedentes às imagens, bem como no ano de 2021 foi abaixo da normal pluviométrica, os valores de NDVI aqui obtidos, possivelmente, estão menores do que de um ano típico.

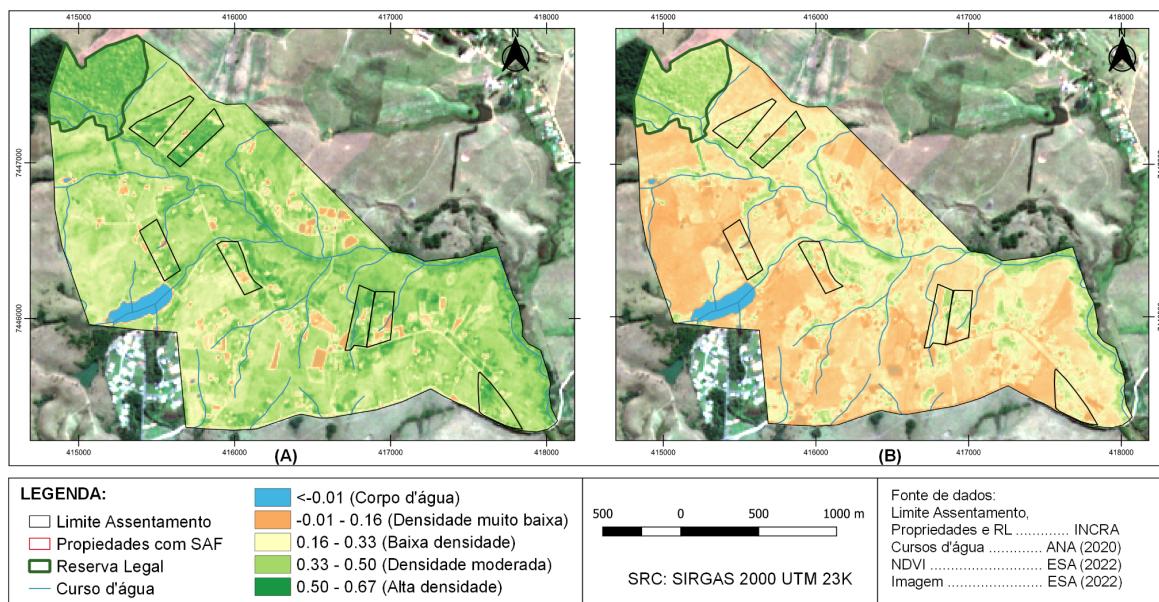
Também deve ser enfatizado que o maior desvio-padrão no mês de estiagem indica que há diferença das plantas no armazenamento da água, o que se reflete no período estiagem, pois aquelas que não possuem sistema radicular em camadas mais profundas do perfil do solo são mais sensíveis ao déficit hídrico em virtude de suas raízes menores (Santos; Carlesso, 1998).

Em relação à distribuição do NDVI entre as classes de uso e cobertura da terra no mês de março (Figura 5A), período de excedente hídrico, verifica-se que os corpos hídricos, com 1% da área de estudo, apresentam os menores índices, com valores abaixo de -0,01. O solo exposto e as construções estão contidos na segunda classe, com intervalo entre -0,01 e 0,16 e área também de 1%. A terceira classe, entre 0,16 e 0,33, abrange 5% da área de estudo e corresponde às demais porções de solo exposto, como os canteiros agrícolas em preparo ou pousio. A quarta classe, com intervalo de 0,33 a 0,50, abrange a maior área, correspondendo a 63%, e refere-se às áreas de atividades agropecuárias constituídas por vegetação rasteira, como as gramíneas, e que, predominantemente, estão relacionadas às pastagens (Figura 6A). Também estão aí incluídas as formações arbustivas de pouca idade, tais como capoeira, indicativo de regeneração natural em estágio inicial, bem como a cobertura vegetal correspondente ao final do ciclo das culturas agrícolas. A quinta classe, com 31%, corresponde a segunda com maior área, abrange valores mais altos de NDVI, entre 0,50 e 0,67, constituída pelos SAF (Figura 6B) e também por vegetação florestal de espécies lenhosas em estágio avançado de regeneração, localizada, predominantemente, na RL e APP de cursos d'água.

ANÁLISE DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS PELO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ESPECTRAL EM ASSENTAMENTO RURAL

A Figura 5B apresenta os valores de NDVI da imagem do mês de agosto, característico do estágio de estresse hídrico das plantas. A primeira classe, corpos hídricos, se mantém com 1% da área total. A segunda classe, pequenas áreas de solo exposto, aumentou para 2%. Os valores de NDVI da agropecuária decaem expressivamente e passam a constituir a terceira classe, tornando-se a maior em área com 68%, composta por pastagem, gramíneas e áreas de cultivo com densidade vegetativa muito baixa a baixa. Esta queda está associada à diminuição da atividade fotossintética e, portanto, ao declínio da produção vegetal, fazendo com que não haja a cobertura completa da terra pela vegetação e, desta forma, a resposta espectral da classe passa a estar contaminada pelo solo. Por fim, a vegetação densa, composta pela floresta em estágio avançado de regeneração, também tem seu índice reduzido e passa para a quarta classe, com redução da área para 27% do total. Também a quinta classe, com NDVI acima de 0,50, passa a ter apenas 2% da área de estudo, ou seja, decréscimo de quase 100%. Verifica-se, dessa forma, não só a importância das áreas protegidas na manutenção dos maiores índices, mas também dos SAF.

Figura 5: Mapa do NDVI - Índice de Vegetação de Diferença Normalizada, na estação chuvosa (A) e na estiagem (B) do Assentamento Nova Esperança I, São José dos Campos, SP.



Fonte: Autores (2023).

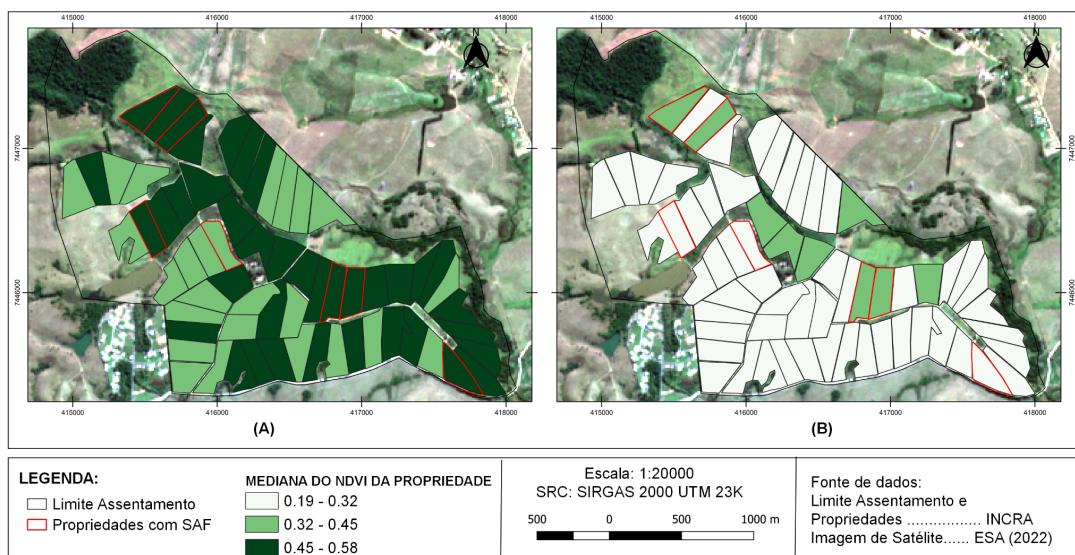
Figura 6: Diferentes classes de uso e cobertura da terra - Área de antiga pastagem sem implantação de SAF (A) e uma das áreas de SAF do Sítio Guajuvira (B) no Assentamento Nova Esperança I, São José dos Campos, SP.



Fonte: Autores (2023).

Para analisar o comportamento dos cultivos com SAF, as medianas do NDVI das parcelas com e sem SAF foram classificadas em três grupos com intervalos iguais (Figura 7). Verifica-se que, no período chuvoso, apenas uma parcela com SAF apresentou mediana na classe intermediária (0,32 a 0,45), enquanto as seis restantes foram classificadas no intervalo de maior NDVI (0,45 a 0,58). Por outro lado, das parcelas que não utilizam SAF, quase metade (43%) foram incluídas na classe com valores de NDVI mais baixos (0,32 a 0,45). No período seco, a tendência continua, ou seja, o melhor desempenho das parcelas com SAF. Neste período, nenhuma parcela apresentou índices no maior intervalo, no entanto quatro das sete parcelas com SAF estão incluídas na classe intermediária, enquanto menos de 9% das parcelas sem SAF correspondem aos valores intermediários de mediana do NDVI, as demais apresentam valores no menor intervalo. Verifica-se, assim que, apesar do número reduzido de parcelas com SAF, os maiores NDVI, tanto no período chuvoso quanto na estiagem, estão concentrados nas parcelas com este tipo de manejo.

Figura 7: Mapa do NDVI Índice de Vegetação de Diferença Normalizada – das parcelas na estação chuvosa (A) e na estiagem (B) do Assentamento Nova Esperança, Assentamento Nova Esperança I, São José dos Campos, SP.



Fonte: Autores (2023).

Estudos de Boratto e Gomide (2013) e Leda *et al.* (2016), que compararam valores de NDVI entre o período úmido e de estiagem nos estados de Minas Gerais e São Paulo, corroboram os resultados alcançados no presente trabalho. Ou seja, os maiores valores do índice ocorreram no período úmido, enquanto, no período com menor volume de precipitação, somente as áreas de mata ciliar nativa, silvicultura e irrigação apresentaram índices mais elevados. Assim, verifica-se que a estiagem afeta significativamente os lotes destinados à pecuária (pastagens), o que sugere uma alteração no ciclo hidrológico do sistema, provocada pela compactação do solo. Esse fenômeno reduz o potencial de armazenamento de água no solo (Araújo *et al.*, 2019), aumentando a sensibilidade dessas áreas ao estresse hídrico.

Gameiro *et al.* (2017) avaliaram a cobertura vegetal através dos índices de vegetação NDVI e SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo), ressaltando este último como um indicativo mais próximo da real condição de saúde da vegetação, devido à minimização dos efeitos de reflectância do solo proporcionada pelo fator de ajuste contido nesse índice. Dessa forma, destacam-se os resultados relevantes alcançados por este trabalho, pois, apesar do NDVI não minimizar o efeito do solo na resposta espectral, mostrou-se eficaz na detecção das diferenças entre as estações chuvosa e seca, bem como nos distintos tipos de manejo do solo praticado pelos agricultores.

Desta forma, os agricultores que, através de mutirões com a Rede Agroflorestal (Devide *et al.*, 2020), mantêm o cultivo agrícola através de boas práticas de manejo e agroflorestas, possuem uma contribuição relevante para conexão da floresta bem como para

provisão dos serviços ecossistêmicos. De acordo com Metzger (2006), a formação dos corredores pode servir como trampolins de fauna, contribuindo para a dispersão e movimento das espécies entre os diferentes habitats, e também de sementes.

Considerações Finais

Este trabalho analisou a relação entre o índice espectral de vegetação e a cobertura da terra em um assentamento rural cuja paisagem apresenta classes que variam desde o solo exposto e cultivos monocultores até SAF e remanescentes florestais em estágio avançado de regeneração. O ano de referência do estudo foi 2022, caracterizado por tendência à estiagem, precedido por um ano com o mesmo padrão climático.

A análise do índice de vegetação no Assentamento Nova Esperança I demonstrou que os valores de NDVI das diferentes classes de cobertura da terra variam conforme a densidade da vegetação. Em ambos os períodos estudados – chuvoso e seco – os menores valores foram associados a corpos hídricos e solo sem cobertura vegetal, enquanto os maiores valores foram observados na vegetação densa, especialmente em áreas protegidas (RL e APP) e em SAF. Os valores intermediários, por sua vez, corresponderam às áreas com uso agropecuário.

Durante o período seco, houve uma queda generalizada dos valores de NDVI em todas as classes, com predominância de valores típicos de solo exposto e vegetação rala. No entanto, as áreas de RL, APP e SAF, embora também apresentassem redução, tiveram o menor decaimento em área e passaram a integrar a classe de densidade média. A análise das parcelas reforça esses resultados, mostrando que aquelas com SAF mantiveram os maiores valores nos períodos úmido e seco, em comparação às demais parcelas sem SAF.

Verifica-se, assim, a importância da vegetação densa na manutenção dos seus serviços ecossistêmicos, mesmo nos períodos críticos de disponibilidade hídrica, como ao final de dois anos seguidos com tendência de estiagem, como realizado neste estudo. Com base nesses resultados, o presente estudo destaca o papel fundamental do uso do SAF e das áreas protegidas nos imóveis rurais, defendendo o estímulo e a valorização de modelos produtivos sustentáveis.

Dessa forma, ressalta-se a necessidade de uma gestão integrada do ambiente rural. Nesse estudo de caso ficou evidente que, apesar de um histórico de supressão das florestas, seguida de práticas convencionais e uma pecuária extensiva - há muitos séculos, ações pontuais de conversão do uso da terra, por meio da implantação de SAF, resultaram em menos de 10 anos em frações do terreno mais resilientes aos períodos de déficit hídrico.

ANÁLISE DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS PELO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ESPECTRAL EM ASSENTAMENTO RURAL

Isso contrasta com as áreas ainda submetidas a práticas convencionais, nas quais se observou uma significativa diminuição da resposta vegetativa durante a estiagem.

Este tema ganha ainda mais relevância diante da atual urgência climática, que se exige a construção de planos de ação voltados à mitigação dos seus efeitos, com base em políticas públicas de restauração, reflorestamento e promoção de serviços ecossistêmicos. Tais iniciativas podem ser fortalecidas por meio da implementação de projetos locais em parceria com o poder público e o terceiro setor, como os programas de pagamentos por serviços ambientais.

Contudo, considerando a complexidade da paisagem rural e a diversidade biofísica e socioambiental dos SAF, são necessários novos estudos com análise de assentamentos mais extensos e com maior número de glebas implantadas nesse sistema, a fim de expandir e corroborar os resultados aqui apresentados.

Por fim, destaca-se a metodologia utilizada neste estudo, por ser fácil aplicação, pode constituir-se em um indicador relevante, entre outros, para o monitoramento, a tomada de decisões e as avaliações periódicas, voltadas à implantação e o acompanhamento de projetos de SAF.

Referências

- ALTIERI, M. A. Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar. **Revista Nera**, Presidente Prudente, ano 13, Nº. 16, p. 22-32, 2010. Disponível em: <<https://revista.fct.unesp.br/index.php/nera/article/view/1362>>. Acesso em: 05 jun. 2022.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Do modelo agroquímico à agroecologia: a busca por sistemas alimentares saudáveis e resilientes em tempos de COVID-19. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**. Edição especial - Agronegócio em tempos de colapso planetário: abordagens críticas, vol. 57, p. 245-257, jun. 2021. <<https://revistas.ufpr.br/made/article/view/78321>>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- ALTIERI, M. A.; PETERSEN P. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. **Agron. Sustain. Dev.**, v. 2, p. 1–13, 2012. Disponível em <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-011-0065-6>>. Acesso em: 12 jul. 2022
- ARAÚJO JÚNIOR, G.; GOMES, F. T.; SILVA, M. J. DA; JARDIN; A. M. R. F.; SIMÕES, V. J. L. P.; IZIDRO, J. L. P. S.; LEITE, M. L. M. V.; TEIXEIRA, V. I.; & SILVA, T. G. F. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. **Pubvet**, v. 13, n. 01, 2019. <<https://doi.org/10.31533/pubvet.v13n01a241.1-10>>. Acesso em: 15 mai. 2023
- BALBINO, L. C., KICHEL, A. N.; BUNGENSTAB D. J.; ALMEIDA, R. G. Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações. In: BUNGENSTAB D. J (Ed). Sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta: a produção sustentável. Campo Grande. **Embrapa Gado de Corte**, p. 13-24. 2011. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/159845/1/Sistemas-de-integracao-o-que-sao-suas-vantagens-e-limitacoes.pdf>>. Acesso em: 02 fev. 2023.

BORATTO, I. M.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 7345-7352, 2013. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/956305>>. Acesso em: 15 mai. 2023

BRASIL. **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006.** Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. 2006. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/l11428.htm>. Acesso em 10 ago. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. 2012b. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651>. Acesso em: 10 ago. 2022.

BRASIL. **Decreto nº 7.830, de 17 de outubro de 2012.** Dispõe sobre o Sistema de Cadastro Ambiental Rural, o Cadastro Ambiental Rural, estabelece normas de caráter geral aos Programas de Regularização Ambiental, de que trata a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, e dá outras providências. Brasília: Congresso Nacional, 2012a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/decreto/d7830.htm>. Acesso em: 10 ago. 2022.

CARDOSO, D. J.; PARRON, L. M.; LUZIANE, F. Metodologia para análise da viabilidade financeira e valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais. In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B.; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica. Brasília, DF: **Embrapa**, Capítulo 6. 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131969/1/Livro-Servicos-Ambientais-Eembrapa.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2022.

CHAUDHARY, A.; PFISTER, S.; HELLWEG, S. Spatially Explicit Analysis of Biodiversity Loss Due to Global Agriculture, Pasture and Forest Land Use from a Producer and Consumer Perspective. **Environ. Sci. Technol.**, v. 50, n. 7, p. 3928–3936, 2016. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.5b06153>>. Acesso em: 17 jul. 2022.

CHAZDON, R.; BRANCALION, P. Restoring forests as a means to many ends. **Science**, v. 365, p. 24-25. 2019. Disponível em: <<http://science.sciencemag.org/content/365/6448/24>>. Acesso em: 13 jun. 2022.

CPLA/SMA. COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL DA SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO. Declividade do Estado de São Paulo. Disponível em: <https://smastr16.blob.core.windows.net/cpla/2013/10/Declividade_UGRHI_01_02.pdf>. Acesso em 12 abr. 2025.

DEVIDE, A. C. P.; LEITE, A. C.; RIBEIRO, S. L. S.; CASTRO, C. M.; QUEVEDO, J. M. Conexões que transformam a sociedade e o ambiente: Ações da Rede Agroflorestal do Vale do Paraíba no Assentamento Nova Esperança I de São José dos Campos, São Paulo, Brasil. **Biogeografia e Paisagem**, p. 163-185, 2020.

ANÁLISE DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS PELO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ESPECTRAL EM ASSENTAMENTO RURAL

ESA. The European Space Agency. **Resolutions Sentinel-2**. 2022. Disponível em <<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions>>. Acesso em: 15 jul. 2022.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. Atlas da Mata Atlântica: Mapeamento do desmatamento da Mata Atlântica – Período 2020-2021. **Relatórios Anuais**. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/sobre/relatorios-e-balancos/>>. Acesso em: 07 ago. 2022.

GAMEIRO S.; TEIXEIRA C.P.B.; SILVA NETO T.A.S.; LOPES, M.F.L.; DUARTE, C.R.; SOUTO M.V.S.; ZIMBACK C.R.L. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. **Terrae**, v. 13(1-2), p. 15-22. 2016. Disponível em: <<https://www.ige.unicamp.br/terrae/V13/PDFv13/TE067-2.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2023

GAVIOLI, F. R. O impacto da lei florestal brasileira na instituição de Reservas Legais no território paulista: um estudo a partir dos dados públicos do Sistema de Cadastro Ambiental Rural. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 42, 2017. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/made/article/view/52873>>. Acesso em: 24 ago. 2022.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Assentamentos**. [Brasília]: Ministério do Desenvolvimento Agrário, 28 jan. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/assentamentos>>. Acesso em: 18 mai. 2023.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Evolução mensal e sazonal das chuvas**. Disponível em: <<http://clima1.cptec.inpe.br/evolucao/pt>>. Acesso em: 20 out. 2022.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos, São Paulo: Parêntese. 2ª Edição. 2009.

JOLY C. A.; METZGER, J. P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings and conservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204: 459–473. Campinas. 2014 Disponível em: <<https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/nph.12989>>. Acesso em: 25 jul. 2022.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p. 1–10, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10457-009-9229-7>>. Acesso em: 12 jul. 2022.

LECHNER, A. L.; FOODY, G. M.; BOYD D. S. Applications in Remote Sensing to Forest Ecology and Management. **One Earth** 2, Cambridge, v. 2, n. 5, p. 405-412, 2020. Disponível em: <<https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2590-3322%2820%2930206-2>>. Acesso em: 8 jul. de 2022.

LEDA, V. C.; SANTOS, J. É. O.; FILGUEIRAS, R.; NICOLETE, D. A. P.; ZIMBACK, C. R. L. Índices de Vegetação na caracterização da bacia do Ribeirão da Prata, Lençóis Paulista – SP. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 5, p. 125-135, 2016 Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/44151>>. Acesso em: 14 mai. 2023.

MARTINELLI, M. Clima do Estado de São Paulo. **Revista franco-brasilera de geografia**, v. 8, 2010. Disponível em: <<http://journals.openedition.org/confins/6348>> Acesso em: 22 mai. 2022.

MARTINS, J. C. R.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SANTOS, A. F.; NAGAI, M. A. Produtividade de biomassa em sistemas agroflorestais e tradicionais no Cariri Paraibano.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola & Ambiental, v. 17, n. 6, p. 581-587, 2013.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000600002>.

METZGER, J. P. Como lidar com regras pouco óbvias para conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas. **Natureza & Conservação**, v. 4, n. 2, p. 11-23, 2006. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/002158459>>. Acesso em: 26 jun. 2022.

MOTA, A. A questão da terra no vale do paraíba: história de um assentamento do MST. **Espaço Plural**, v. XII, n. 24, p. 38-50, 2011. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445949508005>>. Acesso em: 23 fev. 2025.

NAUE, C. R.; MARQUES, M. W.; LIMA, N. B.; GALVÍNCIO, J. D. Sensoriamento remoto como ferramenta aos estudos de doenças de plantas agrícolas: uma revisão. Recife - PE: **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 190-195, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232675>>. Acesso em: 30 jun. 2022.

NOVAIS, G. T.; GALVANI, E. Uma tipologia de classificação climática aplicada ao estado de São Paulo. **Revista do departamento de geografia**, São Paulo, v. 42, p. p. e184630 2022. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/184630>> Acesso em: 20 out. 2022.

PADOVEZI, A.; OLIVEIRA, M.; MATSUMOTO, M.; FELTRAN-BARBIERI, R. **Oportunidades para restauração de paisagens e florestas na porção paulista do Vale do Paraíba**: Plano de Desenvolvimento Florestal Territorial para a porção paulista do Vale do Paraíba. 1. ed. Porto Alegre: Ideograf, 132p. 2018.

PEREZ-MARIN, A. M.; MENEZES, R. S. C. Ciclagem de nutrientes via precipitação pluvial total, interna e escoamento pelo tronco em sistema agroflorestal com Gliricidia sepium. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 32, n. 6, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600034>.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. São Paulo: Oficina de textos. 2012.

PRIMAVESI, A. Agroecologia e manejo do solo. **Revista Agriculturas**, v. 5, n. 3, p. 7-10, 2008. Disponível em: <<https://aspta.org.br/files/2014/10/Artigo-1-Agroecologia-e-manejo-do-solo.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2022.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.mapbiomas.org/map/colecao-9/>>. Acesso em: 28 mar. 2025.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: revisado e ampliado. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, Instituto Florestal. 118 p., 2017. Disponível em: <https://www.infraestruturaeambiente.sp.gov.br/institutoflorestal/wp-content/uploads/sites/234/2017/11/Livro_Solos1.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2022.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A. AND DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. **ERTS-1 Symposium**, Washington, DC. p. 309-317, 1973.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287–294, 1998. <https://doi.org/10.1590/1807-1929.agriambi.v2n3p287-294>.

ANÁLISE DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS PELO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ESPECTRAL EM ASSENTAMENTO RURAL

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS, Prefeitura Municipal de. Secretaria de Urbanismo e Sustentabilidade. **Plano Diretor de São José dos Campos:** Mapa Macrozoneamento Rural. 2018. Disponível em: <<http://planodiretor.sjc.sp.gov.br/estudo-tecnico/128>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

SÃO PAULO (Estado). SIGRH - Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. **Comitê das Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul:** URGHI 02. São Paulo. São Paulo: Subsecretaria de Recursos Hídricos e Saneamento Básico, 2022. Disponível em: <https://sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/6962/ugrhi_02_04.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2022.

SHANMUGAPRIYA P.; RATHIKA, S.; RAMESH, T.; JANAKI, P. Applications of Remote Sensing in Agriculture - A Review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, p. 2270-2283, 2019. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.801.238>.

SICAR. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Sistema de Cadastro Ambiental Rural v3.0.0.** Disponível em <<https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>>. Acesso em: 20 jul. 2022.

SILVA, Y. F.; SILVA, I. T.; ROMERO, C. W. S.; ÁGUAS, T. A.; GARÇON, E. A. M.; BRASCO, T. L.; FIGUEIREDO, G. D. A.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Análise multivariada de comportamentos espectrais de folhas em diferentes estágios de desenvolvimento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2019. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/196972/1/5060.pdf>>. Acesso em: 30 jun. 2022 .

SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas da Mata Atlântica:** Mapeamento do desmatamento da Mata Atlântica – Período 2020-2021. Relatórios Anuais. Disponível em: <<https://www.sosma.org.br/sobre/relatorios-e-balancos/>>. Acesso em: 07 ago 2022.

TERAMOTO, E. H.; BENJUMEA, M. T.; GONÇALVES, R. D.; KIANG, C. H. Séries temporais do índice NDVI na avaliação do comportamento sazonal do Aquífero Rio Claro. **Rev. Bras. de Cartografia**, v. 70, n. 3, p. 1135-1157, 2018. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/45986>>. Acesso em: 19 set. 2022.

TOBELLA, B.; REESE, H.; ALMAW, A.; BAYALA, J.; MALMER, A.; LAUDON, H.; ILSTEDT, U. The effect of trees on preferential flow and soil infiltrability in an agroforestry parkland in semiarid Burkina Faso. **Water Resour. Res.**, v. 50, p. 3342-3354, 2014. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2013WR015197>>. Acesso em: 19 set. 2022.

VASCONCELLOS, R. C.; BELTRÃO, N. E. S. Avaliação de prestação de serviços ecossistêmicos em sistemas agroflorestais através de indicadores ambientais. **Interações**, v. 19, n. 1, p. 209–220, Campo Grande 2018. Disponível em: <<https://interacoescldb.emnuvens.com.br/interacoes/article/view/1494>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

WEZEL, A.; CASAGRANDE, M.; CELETTE, F.; VIAN, J.; FERRER, A.; PEIGNÉ, J. Agroecological practices for sustainable agriculture. A review. **Agron. Sustain. Dev.**, v. 34, p. 1-20, 2014.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais aos agricultores e agricultoras do assentamento Nova Esperança I pela assistência durante o campo e pelas informações fornecidas sobre os cultivos. À professora Júlia Celia Mercedes Strauch pela revisão técnica do texto.

Sobre os autores

Débora Guerreiro de Oliveira Silva – bacharel em Ciência Ambiental pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Mestranda em Engenharia de Biossistemas UFF (PGEB/UFF). **OrcID** – <https://orcid.org/0000-0003-4488-3530>.

Cristiane Nunes Francisco – bacharel e licenciada em Geografia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre em Engenharia de Transportes pela Universidade de São Paulo (USP). Doutora em Geociências pela UFF. Professora Titular da UFF credenciada no PGEB/UFF. **OrcID** – <https://orcid.org/0000-0002-8688-9810>.

Antonio Carlos Pries Devide – engenheiro agrônomo pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRJ). Mestre e Doutor em Fitotecnia, área de concentração em Agroecologia pela UFRJ. Pesquisador científico da Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (Apta). **OrcID** – <https://orcid.org/0000-0003-2663-8611>.

Como citar este artigo

SILVA, Débora Guerreiro de Oliveira; FRANCISCO, Cristiane Nunes; DEVIDE, Antonio Carlos Pries. Análise dos sistemas agroflorestais pelo índice espectral de vegetação em assentamento rural. **Revista NERA**, v. 28, n. 2, e9985, abr.-jun., 2025. <https://doi.org/10.1590/1806-67552025289985>.

Declaração de Contribuição Individual

As contribuições científicas presentes no artigo foram construídas em conjunto pelos(as) autores. A autora **Débora Guerreiro de Oliveira Silva** foi a responsável pelas funções de conceitualização, curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, visualização e redação (rascunho original e revisões). A segunda autora **Cristiane Nunes Francisco** foi a responsável pelas funções de delineamento metodológico, análise formal, supervisão, redação (revisão e edição). O terceiro autor, **Antonio Carlos Devide** foi o responsável pelas funções de conceitualização, análise formal, aquisição de financiamento, metodologia, supervisão, validação e redação (revisão e edição).

Recebido para publicação em 1º de agosto de 2023.
Devolvido para revisão em 28 de janeiro de 2025.
Aceito a publicação em 13 de maio de 2025.

O processo de editoração deste artigo foi realizado por Camila Ferracini Origuela.
