



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

## **O ESTADO DA ARTE DA SEGMENTAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E MAPEAMENTO DO CACAU EM AGROFLORESTAS**

Guilherme Gomes Correia

Monografia de conclusão de curso do  
Curso de Introdução ao Sensoriamento  
Remoto Curso (SER-205), ministrado  
pelo prof. Dr. Milton Kampel.

INPE  
São José dos Campos  
2023

## RESUMO

O cacau é uma importante commodity devido seu valor associado ao chocolate, sendo de importância para diversas regiões. Conhecer sua distribuição espacial e seus impactos torna-se essencial, contudo seu monitoramento não é simples devido sua assinatura espectral. Diversos trabalhos mostram a necessidade de novas técnicas como uso de radar e algoritmos classificadores mais robustos para melhor obtenção de resultados. Dado a necessidade disso algumas novas tem surgido que não se restringem a algumas áreas do globo. Assim, o objetivo deste trabalho foi estabelecer uma revisão bibliográfica do estado da arte da aplicação do sensoriamento remoto no estudo do cacau.

Palavras-chave: Cacau. Sensoriamento Remoto. Classificação.

## **ABSTRACT**

Cocoa is an important commodity due to its value associated with chocolate, being of importance to several regions. Knowing its spatial distribution and its impacts becomes essential, however its monitoring is not simple due to its spectral signature. Several works show the need for new techniques such as the use of radar and more robust classification algorithms to obtain better results. Given the need for this, some new ones have emerged that are not restricted to some areas of the globe. Thus, the objective of this work was to establish a bibliographic review of the state of the art in the application of remote sensing in the study of cocoa.

Keywords: Cocoa. Remote Sensing. Classification.

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 METODOLOGIA .....	6
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	6
3.1 Técnicas com imagens de alta resolução espacial.....	9
3.2 Aprendizagem de máquina para classificação.....	11
3.3 Uso de imagens de radar.....	14
3.4 Principais aplicações da classificação do cacau em agroflorestas .....	16
3.5 Outros usos .....	17
4 CONCLUSÃO .....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	19

## 1 INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto aplicado ao estudo do cacau ainda é uma área pequena, quando comparada com outros tópicos tradicionalmente estudados. Portanto, estabelecer o estado da arte dessa ciência demanda uma extensa busca em base de dados e atenção, pois alguns dos resultados podem ser antigos e já não representar a forma como a pesquisa é realizada atualmente.

Apesar de ainda ser uma área pequena, está crescendo gradualmente com vários artigos encontrados nos últimos anos. Uma hipótese pode ser relacionada ao custo computacional envolvido, uma vez que muitas das metodologias lançam mão de imagens de alta resolução e algoritmos de redes neurais e aprendizado de máquina. Então, com o avanço e barateamento do hardware necessário, além do avanço na tecnologia e número dos sensores remotos disponíveis, foi possível a massificação dos estudos aplicando sensoriamento remoto ao cacau.

Parte relevante da pesquisa em cacau é realizada nas florestas da África, especialmente na África ocidental, em países como Gana, Nigéria e Costa do Marfim. Além disso, grande parte dos pesquisadores são africanos e em instituições africanas, indicando a domínio e importância desse tema para essa população. O Brasil ainda não contribui em larga escala, como Gana ou Costa do Marfim, contudo já existem alguns trabalhos na área, especialmente para regiões da mata atlântica como o sul baiano.

Os principais temas envolvidos estão relacionados à mudança de uso e cobertura do solo e o impacto que o cacau causa nesses ambientes, também é possível citar o desenvolvimento de técnicas de detecção e classificação que são um desafio encontrado. Além disso, existem alguns estudos que começam a utilizar o sensoriamento remoto em outras áreas que não sejam apenas o comportamento do cacau no espaço.

Então, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica simples do estado da arte do sensoriamento remoto aplicado ao estudo do cacau e do cacau. Assim, compreender em que contexto a pesquisa de mestrado a ser

realizada estará inserida, os desafios, os pontos em aberto e as áreas já superadas.

## **2 METODOLOGIA**

Para realização do levantamento dos artigos e demais materiais científicos foi conduzida uma busca em diferentes indexadores de artigos tradicionalmente utilizados em estudos de revisão bibliográfica. Com o conhecimento prévio do número baixa de pesquisas sobre cacau e sensoriamento remoto, principalmente no Brasil, foi decidido utilizar majoritariamente os termos em inglês “cocoa” e “remote sensing”.

Foram usados os seguintes indexadores para construção da base de materiais científicos: Web of Science, Scopus, SciELO e Google Acadêmico. Para WoS e SciELO foi usada a seguinte equação booleana de busca: cocoa AND remote sensing, contudo para o SciELO também foram utilizados os termos em português, dado sua abrangência em periódicos brasileiros. Para Scopus a equação booleana foi: TITLE-ABS-KEY (cocoa AND remote sensing); para o Google Acadêmico foi realizada uma busca com os termos “cocoa remote sensing” e “cacau sensoriamento remoto”. Por fim, também houve uma busca no buscador tradicional do Google, com os mesmos termos aplicados no Google Acadêmico.

Em relação a data de publicação dos materiais científicos, limitou-se a busca a artigos entre 2017 e 2023, contudo foi aceito uma dissertação de mestrado de 2014 devido a relevância do seu tema e a sua presença na bibliografia de outros materiais científicos encontrados.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Foram encontrados um total de 17 materiais científicos, sendo duas dissertações de mestrado, um artigo de simpósio, um resumo expandido de simpósio, um capítulo de livro e 12 artigos de periódicos. Três estão escritos em língua portuguesa, enquanto 14 estão em língua inglesa, ao passo que sete

apresentam autores de instruções brasileiras de pesquisa. Em relação a área de estudo, sete se concentram no Brasil, quanto nove estão na África Ocidental, e um não está associado ao estudo da distribuição espacial do cacau. A tabela 3.1 demonstra os materiais obtidos, seu formato e seu ano de publicação.

Tabela 3.1: Material científico encontrado por formato e ano de publicação

<b>Título</b>	<b>Formato</b>	<b>Ano</b>
Spectral Evaluation of Cocoa: A Methodological Proposal for its Management and Application of the Cabruca Decree	Artigo de periódico	2023
Estimation of Aboveground Biomass in Agroforestry Systems over Three Climatic Regions in West Africa Using Sentinel-1, Sentinel-2, ALOS, and GEDI Data	Artigo de periódico	2023
Modelling the spatial distribution of the classification error of remote sensing data in cocoa agroforestry systems	Artigo de periódico	2023
Assessment of machine learning classifiers in mapping the cocoa-forest mosaic landscape of Ghana	Artigo de periódico	2023
Mapbiomas Cacau: Avanços E Desafios No Mapeamento Do Cultivo Sombreado De Cacau No Sul Da Bahia	Resumo expandido de Simpósio	2023
Optical time series for the separation of land cover types with similar spectral signatures: cocoa agroforest and forest	Artigo de periódico	2022
The Sustainable Expansion of the Cocoa Crop in the State of Pará and Its Contribution to Altered Areas Recovery and Fire Reduction	Artigo de periódico	2022
Detecting cocoa plantations in Cote ^ d'Ivoire and Ghana and their implications on protected areas	Artigo de periódico	2021
Detection of stress areas in cocoa farms using GIS and remote sensing: A case study of Offinso Municipal & Offinso North district, Ghana	Artigo de periódico	2021

Pixel-based and object-oriented approaches in segregating cocoa from forest in the Juabeso-Bia landscape of Ghana	Artigo de periódico	2020
Co-benefits and trade-offs of agroforestry for climate change mitigation and other sustainability goals in West Africa	Artigo de periódico	2020
Improving the detection of cocoa bean fermentation-related changes using image fusion	Capítulo de Livro	2020
Does Sentinel-1A Backscatter Capture the Spatial Variability in Canopy Gaps of Tropical Agroforests? A Proof-of-Concept in Cocoa Landscapes in Cameroon	Artigo de periódico	2020
Avaliação Da Resposta Espectral Do Cacaueiro Com O Uso De Vant	Dissertação de Mestrado	2020
Delineation of Cocoa Agroforests Using Multiseason Sentinel-1 SAR Images: A Low Grey Level Range Reduces Uncertainties in GLCM Texture-Based Mapping	Artigo de periódico	2019
Cocoa agroforest systems classification with high resolution images	Artigo de simpósio	2017
Método De Classificação Especialista Para Imagens De Sensoriamento Remoto Para O Mapeamento De Áreas De Cultivo De Cacau-Cabruca	Dissertação de Mestrado	2014

Fonte: Scopus, Web of Science, SciElo, Google Acadêmico e Google.

Grande parte dos estudos concorda na dificuldade do mapeamento de cacau, principalmente o associado a agroflorestas, devido sua assinatura espectral ser muito semelhante à vegetação primária e secundária de florestas (VALADARES, 2014; NUMBISI; COILLIE; WULF, 2019; ASHIAGBOR et al., 2020; BATISTA et al., 2022; VENTURIERI et al., 2022; CAVALCANTE et al., 2023; TAMGA et al., 2023). Portanto, imagens multiespectrais adquiridas de satélites e sensores amplamente utilizados em monitoramento vegetal como Landsat, Sentinel e MODIS não são capazes de, sozinhas, resolverem questões relacionadas ao estudo do cacau, contudo novas técnicas surgiram a partir desta dificuldade imposta. Além disso, por estarem em regiões de

floretas, existe um problema de quantidade de imagens sem a presença de nuvens, dificultando ainda mais a utilização do sensoriamento remoto ótico.

### **3.1 Técnicas com imagens de alta resolução espacial**

A partir desse paradigma, algumas soluções começaram a aparecer, entre elas, o uso de imagens de alta resolução espacial para classificação foi apreciada. Sua aplicação consiste em duas principais formas: imagens orbitais ou imagens adquiridas por veículo aéreo não tripulado (VANT), o que implica no custo e na área de abrangência, dado as características dessas plataformas. Fonseca et al. (2023) traz como as imagens de alta resolução são parte fundamental na metodologia de classificação de áreas de cacau na plataforma Mapbiomas, em associação a outros produtos de sensoriamento remoto, como radar e média resolução espacial, além de algoritmos de classificação potentes. A acurácia do mapeamento foi considerada satisfatória para grande parte das classes, com 78,5% para o cacau sombreado.

O estudo realizado por Venturieri et al. (2022) também lança mão técnicas de multisensor que incluem a utilização de imagens de alta resolução espacial, contudo com um foco de avaliar áreas de regeneração e prevenção de incêndio a partir da área ocupada pelo cacau. Essa abordagem é vista em Tschora; Cherubini (2020) e Abu et al. (2021), em como avaliar as áreas de cacau podem trazer outras informações que não apenas aquelas que envolvem diretamente o estudo do cacau. Venturieri et al. (2022) traz essa avaliação à Amazônia, relacionando o cacau e seu manejo agroflorestal como um importante fator de regeneração florestal, além disso embasa uma discussão pertinente do cultivo nessas áreas não requisitar novas áreas desmatadas (TSCHORA; CHERUBINI, 2020; ABU et al., 2021).

É comum que durante a fase de treinamento de algoritmos classificadores, amostras das áreas desejadas sejam uma das entradas (VALADARES, 2014), porém para tentar reduzir o problema relacionado à identificação do cacau, Dutra et al. (2017) traz o conceito de contra-exemplos. Utilizando imagens de alta resolução espacial criou-se amostras de áreas que não eram o foco da classificação, mas que seriam utilizadas para mostrar ao classificador o que

não era cacau. O estudo demonstra que foi possível classificar com acurácia o cacau sombreado, além do cacau pleno-sol, assim, permitindo uma melhor estimativa da área total, porém é pertinente adoção de dados de radar para melhora da classificação final (FONSECA et al., 2023).

Em relação ao uso de imagens adquiridas através do uso de VANTs, retorna o grande problema da diferenciação da assinatura espectral do cacau, contudo essa plataforma possui limitações de área de abrangência e revisita, algo que não ocorre em plataformas orbitais. Portanto, o que foi estabelecido em Cavalcante et al. (2023) e Reis (2020) é a sua utilização como forma de validação de dados obtidos em classificadores, ou seja, estabelecer uma metodologia que consiga treinar um modelo para identificar as finas variações existentes, principalmente ao utilizar imagens com resoluções espaciais piores e, assim, formar uma metodologia robusta ao combinar com outros tipos de dados, como visto em Fonseca et al. (2023).

A metodologia proposta por Cavalcante et al. (2023) utiliza índices de vegetação como NDVI, ENDVI, NDVI\_Green e NDVI\_Blue para realização de processos de segmentação e classificação, a fim de tentar aumentar a diferença entre as classes. Apesar da diferenciação espectral dos alvos ainda demonstrar ser um desafio, ao utilizar diferentes câmeras (sensores) em diferentes amostras, foi possível diferenciar com melhor clareza o cacau, contudo, é preciso se atentar a questões de quantidade de radiação incidente e a sua direção, podendo afetar os resultados. Conforme as conclusões do próprio artigo, realizar esse tipo de levantamento para uma área extensa está associado a um enorme custo, sendo um impeditivo para produtores de cacau e até mesmo pesquisas, devido limitação de verba.

O estudo conduzido por Reis (2020) traz uma metodologia muito semelhante a Cavalcante et al. (2023), utilizando os mesmos índices. Ambos os pesquisadores são parte da Universidade Estadual de Santa Cruz, em Ilhéus-BA, local tradicional de cultivo de cacau (REIS, 2020). Um dos maiores problemas encontrados foi relacionado a questão da geometria de aquisição, que influencia nas imagens por meio do sombreamento excessivo.

### **3.2 Aprendizagem de máquina para classificação**

Como apresentado, a classificação do cacau é um enorme desafio, pois não é trivial diferenciá-lo de áreas de floresta, especialmente o cacau sombreado em agroflorestas. Pensando em formas de aprimorar os algoritmos classificadores, diversos métodos baseados em aprendizado de máquina foram avaliados para entender como pode ser melhorada a classificação do cacau em relação às áreas de florestas (VALADARES, 2014; ASHIAGBOR et al., 2020; BATISTA et al., 2022; ASHIAGBOR et al., 2023; TAMGA et al., 2023).

Séries temporais indicam a variabilidade que determinado alvo possui no tempo, através deste raciocínio foi avaliada a viabilidade do seu uso para classificação do cacau por Batista et al. (2022). Inicialmente foram realizados três datasets, um com uma composição temporal anual contendo os melhores pixels para o período, e outro mensal entre maio e setembro que foi fusionado em um único dataset multivariado e o dataset mensal estendido, com diferentes técnicas posteriores como normalização, diferenciação, tendência e máximos e mínimos.

Após a comparação de sete classificadores, como o Random Forest, XGB e o ROCKET, foi detectado que séries temporais apresentam resultados interessantes para melhoramento da classificação do cacau, mesmo utilizando apenas o sensoriamento remoto ótico (BATISTA et al., 2022). Também possível destacar como o algoritmo XGB apresentou melhores resultados, mesmo sendo incomum seu uso em sensoriamento remoto.

O custo computacional deve ser levado em consideração quando realizada essas técnicas, o trabalho de Batista et al. (2022) utiliza mais de 700 GB de memória RAM por cenário rodado, um volume muito distante do utilizado em máquinas cotidianas, como 8 GB ou 16 GB. Portanto, deve ater as possibilidades existentes e ao escopo das áreas avaliadas, como se há poder computacional disponível.

Um estudo semelhante foi performado por Ashiagbor et al. (2023) que também compara diferentes classificadores na intenção de avaliar qual consegue melhor segregar as diferentes classes vegetais. Diferenciando de outros

trabalhos (ASHIAGBOR et al., 2020; BATISTA et al., 2022; TAMGA et al., 2023) que se utilizaram de dados de radar, os autores preferiram apenas o ótico, que se demonstra um desafio quando não são utilizadas imagens de altíssima resolução espacial (CAVALCANTE et al., 2023; FONSECA et al., 2023), no caso, imagens do Sentinel-2.

A discussão proposta sobre a validade dos classificadores na geração de mapas de uso e cobertura da terra é levantada por Ashiagbor et al. (2023). Isso decorre da questão de os diferentes classificadores apresentarem resultados semelhantes em termos estatísticos, suas saídas são muito diversas, dificultando a generalização para outras situações e lugares. Então destaca a importância de sempre estar associado alguém com conhecimento da área de estudo para fornecer dados de entrada preciso e validarem os mapas de uso e cobertura do solo finais.

O estudo conduzido por Tamga et al. (2022) traz justamente a avaliação da distribuição espacial do erro associado à classificação do cacau em locais de agroflorestas. Assim, compreender áreas as quais os classificadores erram mais é interessante para entender as variáveis que mais influenciam negativamente, como sombreamento (REIS, 2020; BATISTA et al., 2022) para se construir e manipular parâmetros mais adequados. Utilizando dados de radar e ótico em conjunto com o Random Forest os autores encontraram um método interessante para demonstrar espacialmente o erro associado ao mapeamento, demonstrando a necessidade de imagens de alta resolução espacial como essencial, que apresentam resultados melhores em relação outros dados utilizando o ótico.

A recorrência da mistura da assinatura espectral também é observada por Tamga et al. (2022), devido sua proximidade com outras culturas como seringueiras e estarem localizadas, geralmente, em pequenas propriedades (como é uma hipótese para o cenário brasileiro), o que torna ainda mais dependente de uma boa resolução espacial. Contudo, apesar de destacar os bons resultados, é necessária a ressalva de que a combinação com outros

métodos complementares, como algoritmos mais poderosos trariam resultados melhores como foi avaliado em Batista et al. (2022).

Em Ashiagbor et al. (2020) há uma abordagem para comparar a diferenciação da classificação de cacau sombreado e do cacau pleno sol, mais simples devido sua segregação de agroflorestas. Como abordado em outros estudos (BATISTA et al., 2022; TAMGA et al., 2023), a metodologia de agregar outros tipos de dados além do ótico com a intenção de construir um dataset mais robusto foi implementada, com a aquisição de dados de radar (que será melhor desenvolvido no próximo capítulo) e objetos de imagem.

A classe de objetos de imagem é um método que não esteve presente nos outros estudos presentes nesta revisão, portanto é uma área a ser explorada que poderá indicar um meio promissor para melhoramento da classificação do cacau. É baseado no fato de objetos de imagens representarem o verdadeiro padrão espacial do que apenas a informação de um pixel, assim, incorporando espacialização na classificação (ASHIAGBOR et al., 2020). É uma alternativa para avaliar a morfologia do cacauzeiro como mais uma forma de diferenciação da floresta secundária.

Apesar de se mostrar como uma alternativa viável é preciso ter ciência que a delimitação de objetos de imagens é um passo crucial que deve ser feito com alta precisão e acurácia, pois impactará severamente no classificador. Além disso, demanda imagens de alta resolução espacial para sua delimitação (REIS, 2020; CAVALCANTE et al., 2023), indicando uma camada de custo computacional em processar o volume de dados gerados por esse tipo de imagem. Por fim, os autores destacam que este método foi válido para áreas com elevada heterogeneidade na paisagem, que levavam à variabilidade intraclasses dos alvos. Portanto, deve ter cautela ao aplicá-lo para Amazônia, sendo necessário maior investigação.

O trabalho realizado por Valadares (2014) é o material científico mais antigo levantado durante a busca, contudo se mostra relevante por ser citado em outros materiais brasileiros (DUTRA et al., 2017; REIS, 2020; CAVALCANTE et al., 2023), indicando sua importância. Ao propor um método de classificação do

cacau-cabruca, isto é, o cacau associado à agroflorestas, para imagens de sensoriamento remoto. Como visto, este é um constante desafio que é investigado por diversos pesquisadores, sendo o principal tópico associado, contudo alguns dos trabalhos estão sendo validados para África (ASHIAGBOR et al., 2020; ABU et al., 2021; ASHIAGBOR et al., 2023; TAMGA et al., 2023) que apresenta característica diferentes ao cenário brasileiro.

Os resultados trazidos por Valadares (2014) estão de acordo com o encontrado com o resto da literatura, classificadores mais simples, como o utilizado pelo SPRING não conseguem classificar o cacau com acurácia. Mesmo não utilizando algoritmos mais robustos de classificação, que inclusive é algo trazido nas conclusões do autor como uma área de possível avanço na metodologia, ao utilizar o método da máxima verossimilhança, a classificação melhora substancialmente, principalmente ao utilizar bandas do vermelho, onde a vegetação possui maior refletividade. Outro resultado em consonância é a melhora ao utilizar uma imagem com melhor resolução espacial, ao reamostrar as imagens para pixels de 12,5 m, também ocorre uma melhora nos resultados, que em combinação com bandas do infravermelho, consegue classificar corretamente todas as áreas de cacau sombreadas avaliadas.

### **3.3 Uso de imagens de radar**

Pela investigação da bibliografia levantada para a avaliação do estado da arte de tópicos de sensoriamento remoto aplicado ao cacau, produtos de radar se mostraram um dado relevante no auxílio da construção dos datasets de treinamento dos algoritmos classificadores. A partir de informações de textura e morfologia trazidas pelo radar é possível diferenciar com maior clareza o cacau sombreado de seus sistemas agroflorestais (NUMBISI; VAN COILLIE; WULF, 2019; NUMBISI; VAN COILLIE, 2020; FONSECA et al., 2023; TAMGA et al., 2023), possibilitando melhor classificação, contudo ainda é uma técnica recente que ainda depende de mais estudos.

Retomando Fonseca et al. (2023), além de imagens de alta resolução espacial no treinamento do algoritmo classificador, também foram utilizados dados de

radar e modelos digitais de terreno. Assim, a introdução de elementos de textura e declividade auxiliaram na interpretação espacial do resultado obtido, gerando uma melhor acurácia. Também é possível destacar o possível uso de LiDAR como forma de avaliar o cultivo do sub-bosque que pode impactar negativamente nos resultados.

Utilizando apenas imagens de radar do Sentinel-1 banda C, NUMBISI; VAN COILLIE; WULF (2019) classificaram áreas de cultivo de cacau e as compararam com imagens de referência obtidas pelo RapidEye. Os autores utilizaram uma análise multitemporal dos dados de radar, o que representa uma variabilidade através das estações do ano, assim, é possível identificar as diferenças volume de água no dossel e diferenciar as espécies vegetais ali presentes. Além disso, concluíram que através de índices de vegetação a fragmentação das florestas pode ser medida, mesmo que a partir de dados de textura originários de imagens de satélite.

Um resultado interessante obtido por NUMBISI; VAN COILLIE; WULF (2019) é o fato de imagens com nível de cinza menor apresentarem menor incerteza, o que visando o custo computacional da classificação se torna interessante. O retroespalhamento representa uma parte importante da metodologia apresentada, pois apesar de sua intensidade não melhorar a acurácia, permite a análise do volume de água. Contudo, como avaliado em Ashiagbor et al. (2020) é preciso destacar que foi um estudo em uma paisagem heterogênea, o que não pode ser o caso do cacau no estado do Pará.

A partir, então da análise do retroespalhamento de radar para análise de variabilidade espacial, Numbisi; Van Coillie (2020) realizaram uma prova de conceito para o efeito do retroespalhamento em lacunas no dossel em agroflorestas tropicais, algo em congruência com o mapeamento e classificação do cacau. Através da banda C do satélite Sentinel 1 e da combinação de seus diversos parâmetros como polarização, intensidade do retroespalhamento e seus coeficientes. O uso de redes neurais também foi avaliado, porém os autores alertam que essa metodologia ainda é inicial e deve ser tomada com cautela para outras áreas de estudo.

A copolarização se mostra melhor para identificação das lacunas no dossel de agroflorestas, contudo a banda C não consegue penetrar profundamente na vegetação como as bandas L ou P, Numbisi; Van Coillie (2020) ressaltam que podem ser dados a serem explorados com novos satélites em órbita. Assim foi obtido que cerca de 30% da variância das lacunas foi explicada pelo retroespalhamento, pois essa variável representa a energia atenuada das lacunas do dossel acima das árvores de cacau.

O uso de dados de radar, LiDAR e ótico para mapeamento de agroflorestas também foi avaliado por Tamga et al. (2023). Os resultados obtidos indicam que áreas menores levam aos classificadores a indicar melhores resultados, devido a variação dos fatores geográficos envolvidos, como o clima. Ao agregar tipos de diversos, permite-se um resultado mais acurado, assim os autores concluem que a metodologia aplicada pode ser um importante framework para trabalhos futuros na classificação em agroflorestas.

### **3.4 Principais aplicações da classificação do cacau em agroflorestas**

Além da identificação das áreas de cultivo de cacau, especialmente em agroflorestas, é importante entender o contexto no qual há essa demanda e como os resultados obtidos são utilizados pela sociedade, assim poder preencher as necessidades existentes. Praticamente todos os artigos levantados surgiram a partir de demandas seja de órgãos governamentais ou para cumprir legislações ambientais ou municiar a discussão da sociedade civil.

Retomando o trabalho realizado por Venturieri et al. (2022), entender a distribuição espacial do cacau e sua evolução temporal serve de apoio para tomadores de decisões e formuladores de políticas públicas. No caso trabalhado no artigo, a expansão do cultivo de cacau contribuiu positivamente para redução do risco de incêndios, além de aumentar as áreas de recuperação, especialmente pastagens degradadas. Além disso, o cacau possui uma cadeia produtiva importante para região de estudo, no caso o estado do Pará, o que torna essencial compreender a dinâmica social ali envolvida a fim de municiar e formular políticas públicas.

Outro trabalho que vai em direção semelhante, ao avaliar as plantações de cacau e suas implicações em áreas protegidas é realizado por Abu et al. (2021). O artigo também se utiliza da mistura de dados de radar e ótico para classificação. Porém, ao contrário do cacau cultivado no Pará que contribui para regeneração e preservação ambiental (VENTURIERI et al., 2022), foi encontrado que a pressão do cultivo do cacau na área do estudo, Costa do Marfim e Gana, contribui para o desmatamento devido a importância da cultura para economia desses países (ABU et al., 2021), assim ele é cultivado por meio de monocultura. Assim, é importante entender a variabilidade espacial do impacto das culturas possuem em diferentes contextos.

A saúde de uma cultura tão importante como o cacau para economia de países como Gana gera uma pressão para seu constante monitoramento (ABU et al., 2021; ANYIMAH; OSEI JNR; NYAMEKYE, 2021). Partindo desse princípio foi, então, avaliada o stress do cacau por Anyimah; Osey JNR; Nyamekye, 2021 através de índices de vegetação. Os resultados obtidos indicam a saúde do cacau e sua distribuição espacial, assim mostra a relevância de uma classificação bem-sucedida.

Outra aplicação que trás a importância da identificação e classificação do cacau é o estudo realizado por Tschora; Cherubini (2020), que visa analisar os efeitos positivos e negativos das agroflorestas, com grande parte formada por cacau, na mitigação das mudanças climáticas na África ocidental. Apesar de Abu et al. (2021) destacar o impacto negativo do cacau na preservação ambiental em Gana, foi encontrado que, quando associado à agroflorestas, o cacau, e as agroflorestas no geral, podem contribuir positivamente para preservação ambiental e mitigação das mudanças climáticas ao aumentar estoques de carbono, aumento de produtividade e gerar uma renda para os produtores locais.

### **3.5 Outros usos**

O sensoriamento remoto aplicado ao cacau não está apenas sendo utilizado em seu monitoramento ambiental, mas também em outras áreas, como

avaliação da qualidade da semente do cacau para o chocolate. Isso é demonstrado por Criollo et al. (2020) que utiliza o sensoriamento remoto espectral e fusão de imagens para avaliar o grau de fermentação das sementes, assim é possível conhecer detalhes antes ocultos ou de difícil acesso através deste método.

#### **4 CONCLUSÃO**

O cacau é uma das principais culturas associadas aos sistemas de agroflorestas, além de ser muito cobiçado por ser a matéria-prima para a fabricação do chocolate. Então o interesse em seu monitoramento tem aumentado nos últimos anos, contudo a classificação quando está cultivado como cacau sombreado representa um desafio não trivial aos pesquisadores.

Apenas recentemente foi avaliado com maior afinco as questões relacionadas a classificação do cacau. Diversos estudos concordam que a utilização apenas do óptico não consegue resolver a problemática, sendo necessário buscar complementar e aprimorar os métodos. Dentre os avaliados, o uso de radar tem se mostrado como uma metodologia muito interessante devido sua presença em satélites como Sentinel 1 e em outros futuros, algo que não é possível com o LiDAR. É necessário destacar, porém a importância de imagens de alta resolução espacial para aquisição de imagens de treinamento para algoritmos classificadores. Além disso, o custo computacional envolvido pode se tornar um impeditivo em diversas circunstâncias.

Muito dos estudos abordam a África Ocidental ou o sul da Bahia, com ainda poucos desbravando o cacau amazônico, o que indica a continuidade da pesquisa. Por fim, o uso do sensoriamento remoto relacionado ao cacau não apenas limitado a sua distribuição, como técnicas de sensoriamento remoto hiperespectral demonstram.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU, Itohan-Osa et al. Detecting cocoa plantations in Côte d'Ivoire and Ghana and their implications on protected areas. **Ecological Indicators**, [S. l.], v. 129, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107863>.

ANYIMAH, Felix O.; OSEI JNR, Edward M.; NYAMEKYE, Clement. Detection of stress areas in cocoa farms using GIS and remote sensing: A case study of Offinso Municipal & Offinso North district, Ghana. **Environmental Challenges**, [S. l.], v. 4, 2021.

ASHIAGBOR, George et al. Pixel-based and object-oriented approaches in segregating cocoa from forest in the Juabeso-Bia landscape of Ghana. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [S. l.], v. 19, 2020.

\_\_\_\_\_. Assessment of Machine Learning Classifiers in Mapping the Cocoa Forest Mosaic Landscape of Ghana. **Scientific African**, [S. l.], v. 20, 2023.

BATISTA, João E. et al. Optical time series for the separation of land cover types with similar spectral signatures: cocoa agroforest and forest. **International Journal of Remote Sensing**, [S. l.], v. 43, n. 9, p. 3298–3319, 2022.

CAVALCANTE, Pedro Jeronimo de Carvalho Neves; MICHEL, Roberto Ferreira Machado; MOREAU, Maurício Santana; PAIVA, Arlicélio de Queiroz; NORONHA, Rafael Henrique de Freitas; SILVA, Tássio Moreira. Spectral Evaluation of Cocoa: A Methodological Proposal for its Management and Application of the Cabruca Decree. **Floresta e Ambiente**, [S. l.], v. 30, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087-floram-2022-0050>.

CRIOLLO, Ronald et al.. Improving the detection of cocoa bean fermentation-related changes using image fusion. In: PANDEY, Prem et al. (org.). **Hyperspectral Remote Sensing**. [s.l.] : Elsevier, 2020. p. 343–356. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102894-0.00013-9>.

DUTRA, Luciano et al. Cocoa agroforest systems classification with high resolution images. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 2017, Santos. Anais [...]. Santos: INPE, 2017 p. 304–311.

FONSECA, Marisa G. et al. MAPBIOMAS CACAU: AVANÇOS E DESAFIOS NO MAPEAMENTO DO CULTIVO SOMBREADO DE CACAU NO SUL DA BAHIA. In: ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2023. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/mapbiomas-cacau-avancos-e-desafios-no-mapeamento-do-cultivo-sombreado-de-cacau-n?lang=pt-br>> Acesso em: 25 maio. 2023.

NUMBISI, Frederick N.; VAN COILLIE, Frieke. Does Sentinel-1A Backscatter Capture the Spatial Variability in Canopy Gaps of Tropical Agroforests? A Proof-of-Concept in Cocoa Landscapes in Cameroon. **Remote Sensing**, [S. l.], v. 12, n. 24, p. 4163, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12244163>. Acesso em: 19 mar. 2021.

NUMBISI, Frederick N.; VAN COILLIE, Frieke M. B.; DE WULF, Robert. Delineation of Cocoa Agroforests Using Multiseason Sentinel-1 SAR Images: A Low Grey Level Range Reduces Uncertainties in GLCM Texture-Based Mapping. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 179, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi8040179>.

REIS, Márcia E. S. AVALIAÇÃO DA RESPOSTA ESPECTRAL DO CACAUEIRO COM O USO DE VANT. 2020. 82p. Dissertação (Mestrado em Produção Ambiental) – Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, 2020. Disponível em: <http://nbcgib.uesc.br/ppgpv/painel/paginas/uploads/6cab9694c7539b7fd9cc518b0e6093e1.pdf>. Acesso em 25 maio. 2023.

TAMGA, Dan K. et al. Modelling the spatial distribution of the classification error of remote sensing data in cocoa agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, [S. l.], v. 97, n. 1, p. 109–119, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00791-2>.

\_\_\_\_\_. Estimation of Aboveground Biomass in Agroforestry Systems over Three Climatic Regions in West Africa Using Sentinel-1, Sentinel-2, ALOS, and GEDI Data. **Sensors**, [S. l.], v. 23, n. 1, p. 349, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23010349>.

TSCHORA, Héloïse; CHERUBINI, Francesco. Co-benefits and trade-offs of agroforestry for climate change mitigation and other sustainability goals in West Africa. **Global Ecology and Conservation**, [S. l.], v. 22, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00919>.

VALADARES, Josmar O. Método de classificação especialista de imagens de sensoriamento remoto para o mapeamento das áreas de Cacau-cabruca. 100 f. il 2014. Dissertação (Mestrado) – Mestrado de Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, 2014.

VENTURIERI, Adriano et al. The Sustainable Expansion of the Cocoa Crop in the State of Pará and Its Contribution to Altered Areas Recovery and Fire Reduction. **Journal of Geographic Information System**, [S. l.], v. 14, n. 3, p. 294–313, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4236/jgis.2022.143016>. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=118147>.