



GABRIELA DE BARROS CRUZ

**CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO E
PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA DO SOLO NA
REGIÃO SUL DO MALI: ESTUDO DE CASO NAS ALDEIAS
AGRÍCOLAS DE SIANI E BANDIAGARA II**

**LAVRAS - MG
2024**

GABRIELA DE BARROS CRUZ

**CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO E PLANEJAMENTO
CONSERVACIONISTA DO SOLO NA REGIÃO SUL DO MALI: ESTUDO DE CASO
NAS ALDEIAS AGRÍCOLAS DE SIANI E BANDIAGARA II**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva
Orientador

Dr. Bernardo Moreira Cândido
Coorientador

**LAVRAS – MG
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Cruz, Gabriela de Barros.

Classificação da capacidade de uso e planejamento
conservacionista do solo na região sul do Mali: Estudo de caso nas
aldeias agrícolas de Siani e Bandiagara II / Gabriela de Barros Cruz.
- 2023.

102 p.: il.

Orientador(a): Marx Leandro Naves Silva.

Coorientador(a): Bernardo Moreira Cândido.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2023.

Bibliografia.

1. Degradação do solo. 2. VANT. 3. Fotogrametria. I. Silva,
Marx Leandro Naves. II. Cândido, Bernardo Moreira. III. Título.

GABRIELA DE BARROS CRUZ

**CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO E PLANEJAMENTO
CONSERVACIONISTA DO SOLO NA REGIÃO SUL DO MALI: ESTUDO DE CASO
NAS ALDEIAS AGRÍCOLAS DE SIANI E BANDIAGARA II**

**CLASSIFICATION OF LAND USE CAPABILITY AND CONSERVATION
PLANNING IN SOUTHERN MALI: A CASE STUDY IN THE AGRICULTURAL
VILLAGES OF SIANI AND BANDIAGARA II**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovado em 31 de outubro de 2023

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva	UFLA
Prof. Dr. Junior Cesar Avanzi	UFLA
Profa. Dra. Michele Duarte de Menezes	UFLA
Prof. Dr. Felipe Schwerz	UFLA
Prof. Dr. Djail Santos	UFPB

Prof. Dr. Marx Leandro Naves Silva
Orientador

Dr. Bernardo Moreira Cândido
Coorientador

**LAVRAS – MG
2024**

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À minha família, mãe, pai e irmã, por todo apoio e incentivo.

À Paçoquinha, melhor cachorra do mundo, por iluminar meus dias e trazer leveza e alegria à minha vida, mesmo nos piores momentos.

Aos amigos de Volta Redonda, de Viçosa e de Lavras, minha rede de apoio, pelo acolhimento, incentivo, risadas, choros, pelos forrós e zouks... por me acalentarem e se fazerem sempre presentes, estando longe ou perto.

À Beatriz, Luís e Rafa, pela paciência, incentivo e parceria, sem vocês essa dissertação não teria sido finalizada.

Pela sorte em tê-los, todos, ao meu lado, pois com vocês eu sou mais forte.

À Elisângela, psicóloga, e ao Dr. Gilbran, psiquiatra, que me acompanharam nessa jornada, me ajudaram a lidar com todas as crises e dificuldades e me fizeram perceber que eu sou capaz.

À Alexandra Elbakyan e todos aqueles que lutam por uma ciência livre e acessível.

Aos professores, pesquisadores e estudantes do projeto Cotton-Solos, responsáveis pelos voos de VANT, descrição dos perfis de solo e pelas análises físicas, morfológicas e químicas dos solos das aldeias.

Aos habitantes de Siani e Bandiagara II.

À CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio financeiro. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, à UFLA e às agências de cooperação responsáveis pelo projeto Cotton-Solos (ABC/MRE, CMDT, PNUD/ONU), pela estrutura fornecida e pelo financiamento do projeto.

“We must dare to invent the future”

(Thomas Sankara)

RESUMO

No continente africano, cerca de 27% dos solos se encontram em estado de degradação moderada a alta, sendo 65% deles destinados ao uso agrícola. A agricultura é uma importante atividade econômica do Mali e o algodão sua principal cultura de exportação. No entanto, grande parte das propriedades agrícolas do país, apresentam graves problemas de degradação dos solos, devido principalmente à erosão hídrica e baixa fertilidade. O sistema de classificação da capacidade de uso do solo é uma metodologia direcionada à conservação do solo e estabelece seu melhor uso dentro dos conceitos de sustentabilidade dos agroecossistemas. Este estudo teve como objetivo principal propor uma classificação da capacidade de uso do solo adaptada às condições das propriedades agrícolas de baixo nível tecnológico nas aldeias de Siani e Bandiagara II, no Mali, África Ocidental, utilizando, para isso, metodologias de sensoriamento remoto. Foram realizados o levantamento e caracterização do meio físico, observações de campo, levantamentos pedológicos e análises físicas e químicas do solo. Também foram gerados ortomosaicos de alta resolução e Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir de imagens aéreas obtidas por câmera digital embarcada em Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), através de técnicas de aerofotogrametria digital. Com base nos dados gerados, os critérios diagnósticos selecionados para os fatores limitantes gerais e específicos se mostraram adequados para realizar a caracterização das áreas e, conseqüentemente, a classificação da capacidade de uso. Foram adicionados fatores limitantes relacionados à fertilidade dos solos (CTC, V e MOS), ao clima (regime hídrico), à disponibilidade de água (drenagem e déficit hídrico) e ao solo (grau de encrostamento), no método adaptado. Em ambas as aldeias, foram determinadas as classes IV_{s,c}, IV_{e,s,c} e VI_e de capacidade de uso. O método adaptado às condições das aldeias malinesas, se mostrou o mais flexível entre os métodos aplicados. Por fim, foi feita a recomendação do planejamento conservacionista de uso do solo, possibilitando a implantação das Unidades Técnicas Demonstrativas (UTD), a fim de garantir a sustentabilidade dos agroecossistemas estudados e a difusão das técnicas conservacionistas em diferentes regiões da África Ocidental.

Palavras-chave: Degradação do solo. Erosão hídrica. VANT. Fotogrametria. Capacidade de uso do solo.

ABSTRACT

On the African continent, about 27% of soils are found in a state of moderate to high degradation, with 65% of them used for agricultural purposes. Agriculture is an important economic activity of Mali and cotton is its main export crop. However, many of the country's farms face serious soil degradation problems, mainly due to water erosion and low fertility. The land use capability classification system is a methodology orientated towards soil conservation and establishes its best use within the concepts of agroecosystems sustainability. The main objective of this study was to propose a land use capability classification adapted to the conditions of low-tech farms in the agricultural villages of Siani and Bandiagara II in Mali, West Africa, using remote sensing methodologies. Thus, a survey and characterization of the physical environment, field observations, pedological surveys, field tests and physical and chemical soil analyses were carried out. High-resolution orthomosaics and a Digital Terrain Model (DTM) were also generated from aerial images obtained with a digital camera on-board an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) using digital aerophotogrammetry techniques. Based on the dataset generated, the diagnostic criteria selected for the general and specific limiting factors proved to be suitable for characterizing both areas and, consequently, classifying their land use capability. Limiting factors related to soil fertility (CTC, V and MOS), climate (water regime), water availability (drainage and water deficit) and soil (crusting degree) were added to the adapted method. In both villages, the land use capability classes IV_{s,c}, IV_{e,s,c} and VI_e were determined. The method adapted to the conditions of the Malinese villages proved to be the most flexible of the methods applied. Finally, a recommendation was made for conservation land use planning, allowing the implementation of Technical Demonstration Units (TDU), in order to guarantee the sustainability of the agroecosystems studied and the dissemination of conservation techniques in different regions of West Africa.

Keywords: Soil degradation. Water erosion. UAV. Photogrammetry. Land use capability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Esquema dos grupos, classes, subclasses e unidades de capacidade de uso do solo.	15
Figura 02 - Intensidades máximas de uso agrícola para as classes de capacidade de uso.....	17
Figura 03 - Localização das aldeias Bandiagara II (a) e Siani (b), Mali, África Ocidental.	26
Figura 04 - Variação de temperatura e precipitação anuais na região de Sikasso, Mali.	26
Figura 05 - Velocidade do vento registrada na estação meteorológica de Siani (médias diárias).	27
Figura 06 - Registros da paisagem observada na aldeia Siani, Mali.	28
Figura 07 - Mapas de solos das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).....	29
Figura 08 - Ortomosaicos das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B), gerados a partir das imagens aéreas obtidas por VANT.	45
Figura 09 - Mapa de declividade das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).....	46
Figura 10 - Índice de vegetação MGRVI das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).	47
Figura 11 - Localização e tipos de erosão das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).	47
Figura 12 - Atributos de fertilidade do solo das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B): saturação por bases (V), capacidade de troca de cátions (CTC), matéria orgânica do solo (MOS).....	53
Figura 13 - Uso e cobertura do solo das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).	54
Figura 14 - Classificação da velocidade de rajadas de vento na aldeia Siani.....	60
Figura 15 - Classes de capacidade de uso do solo das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B)..	63
Figura 16 - Potencial de uso do solo das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).	65
Figura 17 - Imagens obtidas com o VANT demonstrando a disposição da estrada em relação à rede de drenagem na aldeia Siani, em diferentes escalas.	68
Figura 18 - Registros de pedregosidade, encrostamento e inundação encontrados nas aldeias Siani e Bandiagara II.	71
Figura 19 - Práticas conservacionistas utilizadas nas aldeias Siani e Bandiagara II.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Classificação do índice de vegetação MGRVI.....	32
Tabela 02 - Classificação da declividade.	33
Tabela 03 - Classes e limites dos atributos saturação por bases (V), capacidade de troca de cátions (CTC) e matéria orgânica no solo (MOS).....	33
Tabela 04 - Critérios de classificação dos fatores limitantes gerais e seus respectivos graus de limitação, classes e simbologia utilizados na classificação da capacidade de uso.....	38
Tabela 05 - Critérios de classificação dos fatores limitantes específicos e seus respectivos graus de limitação, classes e simbologia utilizados na classificação da capacidade de uso.	42
Tabela 06 - Distribuição da declividade nas aldeias Siani e Bandiagara II.....	46
Tabela 07 - Distribuição dos tipos de erosão hídrica nas aldeias Siani e Bandiagara II.	48
Tabela 08 - Resultados das análises químicas de solo das aldeias Siani e Bandiagara II.	49
Tabela 09 - Resultados das análises físicas de solo das aldeias Siani e Bandiagara II.	50
Tabela 10 - Área ocupada por cada classe de uso do solo nas aldeias Siani e Bandiagara II.	54
Tabela 11 - Classificação dos fatores limitantes gerais das aldeias Siani e Bandiagara II.....	55
Tabela 12 - Classificação dos fatores limitantes específicos das aldeias Siani e Bandiagara II.	57
Tabela 13 - Classes de capacidade de uso do solo considerando os três métodos para cada unidade de mapeamento das aldeias Siani e Bandiagara II.	61
Tabela 14 - Área de cada classe de capacidade de uso do solo das aldeias Siani e Bandiagara II, considerando o Método 3.	64
Tabela 15 - Adequabilidade de uso das aldeias Siani e Bandiagara II.	66
Tabela C-1 - Resultados da análise de fertilidade do solo da aldeia Siani, Mali.....	98
Tabela C-2 - Resultados da análise de fertilidade do solo, da aldeia Siani, Mali.....	99
Tabela C-3 - Resultados da análise de fertilidade do solo da aldeia Bandiagara II, Mali.	100
Tabela C-4 - Resultados da análise de fertilidade do solo da aldeia Bandiagara II, Mali.	101

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 - Modified Green Red Vegetation Index	31
Equação 02 - Índice de encrostamento	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	12
1.1	HIPÓTESES.....	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO DO SOLO.....	14
2.2	PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA DE USO DO SOLO.....	19
2.3	FOTOGRAMETRIA DE ALTA RESOLUÇÃO NA AVALIAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO...21	
2.4	ASPECTOS ECONOMICOS E AMBIENTAIS DA AGRICULTURA NO MALI.....	22
2.5	PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO MALI E O PROJETO COTTON-SOLOS.....	23
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.1.1	Localização, clima e relevo.....	25
3.1.2	Solos.....	28
3.1.3	Atividade agrícola.....	29
3.2	LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO.....	30
3.3	ELABORAÇÃO DOS MAPAS.....	30
3.3.1	Índice de vegetação e erosão.....	31
3.3.2	Declividade.....	32
3.3.3	Uso e cobertura do solo.....	33
3.3.4	Atributos químicos, físicos e morfológicos.....	33
3.4	SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO DO SOLO.....	34
3.4.1	Critérios diagnósticos e fatores limitantes gerais e específicos.....	35
3.5	ADEQUABILIDADE DE USO DO SOLO.....	44
4	RESULTADOS.....	45
4.1	ORTOMOSAICOS, DECLIVIDADE E EROSÃO.....	45
4.2	ATRIBUTOS FÍSICOS E DE FERTILIDADE DO SOLO.....	48
4.3	USO E COBERTURA DO SOLO.....	52
4.4	CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO DO SOLO.....	54
4.5	ADEQUAÇÃO DE USO E MANEJO CONSERVACIONISTA.....	64
5	DISCUSSÃO.....	66

5.1	CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO.....	66
5.2	ADAPTAÇÃO DO MÉTODO PARA AS CONDIÇÕES MALINESAS.....	69
5.3	ADEQUAÇÃO DE USO E MANEJO CONSERVACIONISTA.....	72
6	CONCLUSÕES	74
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
	APÊNDICE A: DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS DOS PERFIS DE SOLO DA ALDEIA SIANI, MALI.....	84
	APÊNDICE B: DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS DOS PERFIS DE SOLO DA ALDEIA BANDIAGARA II, MALI.	92
	APÊNDICE C: ANÁLISES DE FERTILIDADE DO SOLO DAS ALDEIAS SIANI E BANDIAGARA II, MALI.....	98
	APÊNDICE D: CÁLCULO DE PERMEABILIDADE DO SOLO À ÁGUA PARA AS ALDEIAS DE SIANI E BANDIAGARA II, MALI.	102

1 INTRODUÇÃO GERAL

Segundo dados da FAO e ITPS (2015), 33% dos solos do mundo se encontram em estado de degradação moderada a alta. No continente africano, cerca de 65% das terras agrícolas se encontram em estado de degradação moderada a alta (NYAMEKYE et al., 2018). Erosão, salinização e compactação dos solos estão entre suas principais causas (BARITZ et al., 2017).

Isto é problemático pois a economia de boa parte dos países africanos é dependente do uso da terra, com a agricultura sendo a principal atividade econômica. Este é o caso do Mali, localizado na África Ocidental, onde a produção de milho, arroz e milheto como grãos de consumo e de algodão para exportação corresponde a mais de 35% do PIB do país e 73% de sua força de trabalho total (FAO, 2017; BENJAMINSEN et al., 2010). A região sul do país é a principal zona algodoeira, apresentando uma produção média anual de 760 mil toneladas de algodão-carço (GUINDO et al., 2022).

No entanto, sua produção agrícola é muito vulnerável aos padrões climáticos e a degradação do solo é generalizada na região, com um declínio contínuo da matéria orgânica e de nutrientes na camada superficial do solo (TRAOERE e BIRHANU, 2019; LAHMAR et al., 2012). Com isso, existe a necessidade da implementação de sistemas onde a exploração dos recursos naturais seja feita de forma sustentável.

O manejo agrícola inadequado pode impactar o solo de forma negativa e, conseqüentemente, causar problemas ambientais de grande extensão espacial (IBÁÑEZ, 1997). O planejamento conservacionista permite reduzir esses impactos e a degradação dos solos, preservando sua capacidade produtiva e favorecendo o aumento da fertilidade e matéria orgânica (CALEGARIO et al., 2017; PRUSKI, 2009).

Estratégias de planejamento e gestão do uso da terra com viés conservacionista são uma saída para otimizar o uso dos recursos naturais com o mínimo de prejuízo, protegendo ou até restaurando a fertilidade e a qualidade dos solos, garantindo a provisão de serviços ambientais e segurança alimentar a curto e longo prazos (HERRICK et al., 2019; IPPOLITO et al., 2021). No entanto, para se obter resultados satisfatórios, é preciso conhecer a capacidade produtiva e intensidade de uso que determinado solo suporta, uma vez que um mesmo tipo de uso pode causar maior ou menor impacto dependendo do manejo adotado (CALEGARIO et al., 2019).

O uso do solo é determinado por diversos fatores (naturais, culturais, socioeconômicos e políticos) de acordo com as possibilidades e limitações de cada local e preferências de cada agricultor (CARMONA et al., 2010). Segundo Lepsch et al. (2015), para determinar a

capacidade de uso o primeiro passo é realizar o levantamento do meio físico, destacando os fatores que mais influenciam no uso do solo, como sua classe, a declividade, a erosão, o clima e o regime hidrológico.

Técnicas de mapeamento aéreo de alta resolução podem auxiliar o trabalho de levantamento do meio físico. A fotogrametria aérea feita por sensores embarcados em Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) é uma dessas técnicas, e pode ser utilizada para a obtenção de informações detalhadas do terreno com alta precisão em relação às técnicas de sensoriamento remoto orbital. Entre suas vantagens podemos citar sua flexibilidade, alta resolução espacial e temporal e facilidade de uso (BURDZIAKOWSKI, 2018).

O Mali apresenta graves problemas de degradação do solo além de fortes limitações ao seu uso. Por esse motivo, a adaptação de um sistema de capacidade de uso específico para a realidade do país, aliada a um planejamento racional de uso do solo, com enfoque no manejo conservacionista, é importante para a superação destas limitações. Assim, é possível garantir solos mais férteis, com qualidade, segurança alimentar à população malinesa e provisão de serviços ambientais.

Neste contexto, o objetivo do estudo foi elaborar uma metodologia de determinação da capacidade de uso do solo e o planejamento de uso para as aldeias agrícolas do Mali. Espera-se que a metodologia adotada sirva de suporte para futuras ações de intervenção visando a implantação de tecnologias de conservação do solo e da água e o monitoramento contínuo dos plantios. Além disso, a classificação da capacidade de uso é de suma importância na elaboração de estratégias de manejo conservacionista do solo, visando a adequação do manejo às culturas e o planejamento da expansão sustentável das áreas agrícolas das aldeias no sul do Mali.

1.1 HIPÓTESES

- a) O uso da técnica de aerofotogrametria por VANT e os produtos gerados, são adequados para a aplicação da metodologia de levantamento da capacidade do uso do solo.
- b) Os fatores limitantes gerais e específicos selecionados são adequados para a classificação dos solos nas classes de capacidade de uso nas aldeias agrícolas do Mali, África.
- c) Quais critérios de julgamentos das classes de capacidade de uso do solo foram adequados considerando os níveis tecnológicos.
- d) A metodologia adaptada é eficiente para avaliar a capacidade de uso do solo nas aldeias agrícolas do sul do Mali.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

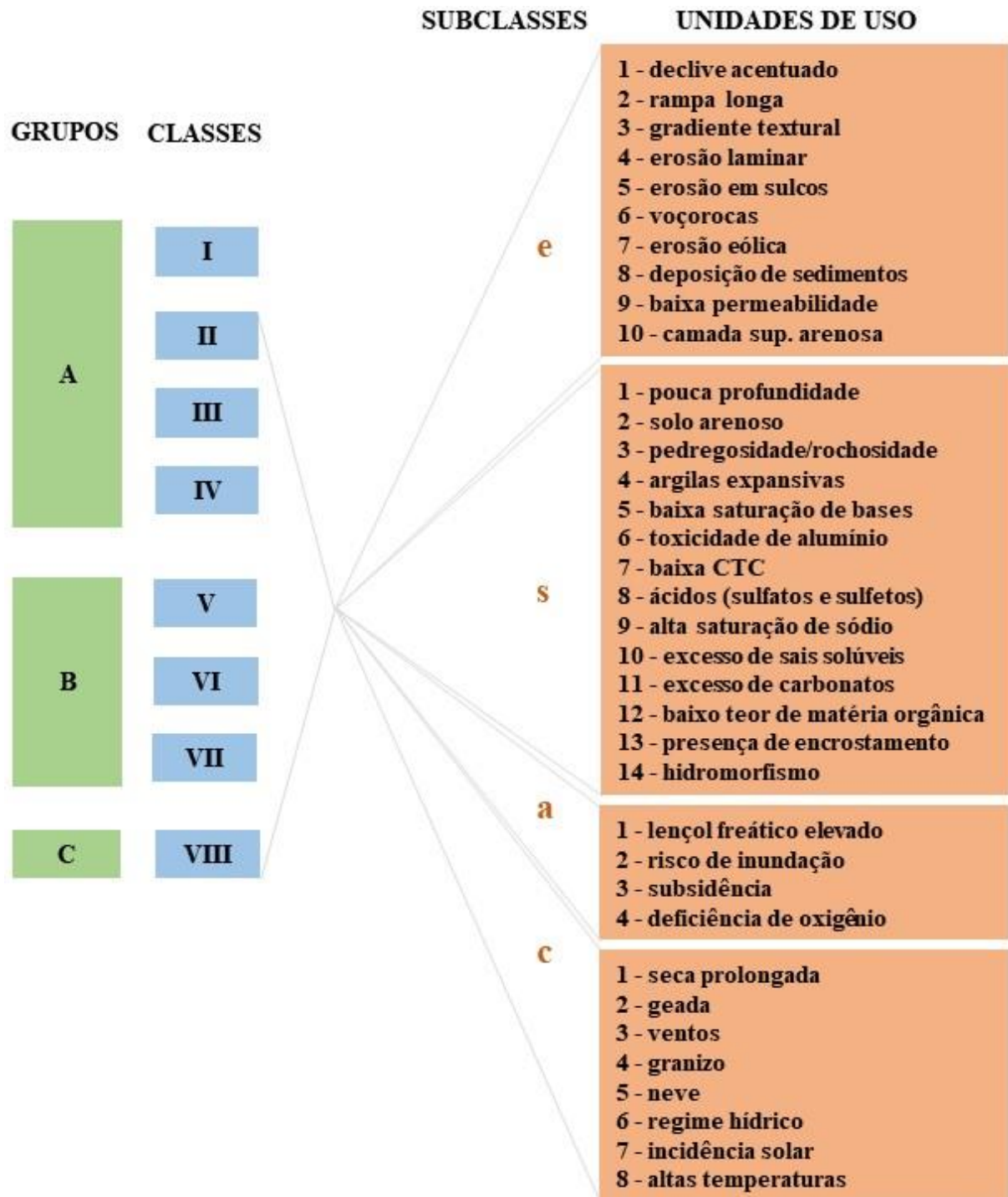
2.1 AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO DO SOLO

Conhecer os limites e capacidades de produção da própria terra permite adequar seu uso por longos períodos e dá maior autonomia ao produtor, daí a necessidade de sistemas de classificação dos solos. Muitos modelos empíricos, baseados em observações diárias e conhecimentos repassados ao longo de anos, foram desenvolvidos pelos próprios agricultores. Alguns modelos técnico-científicos também foram desenvolvidos, como o “Framework for Land Evaluation” desenvolvido pela FAO em 1976, e a classificação da capacidade de uso, um dos métodos mais difundidos (ABD-ELMABOD et al., 2017; FAO, 1976; HUDSON, 1971; TAVEIRA, 2019). No Brasil, Lepsch et al. (2015) identificaram a necessidade de um sistema de classificação direcionado à conservação do solo, considerando práticas de controle da erosão, e adaptaram a metodologia desenvolvida por Klingebiel e Montgomery (1961).

O sistema de capacidade de uso do solo é uma classificação técnico-interpretativa que estabelece o melhor uso da área, considerando todas as possibilidades e limitações, para diversos fins sem que haja danos por desgaste e empobrecimento. Ele leva em consideração o tipo de uso da terra na data do mapeamento, o manejo empregado e a estrutura de produção (relações sociais de produção), procurando, assim, caracterizar, da melhor maneira possível, as classes de uso definidas (HUDSON, 1971; LEPSCH et al., 2015).

Esse sistema estabelece quatro categorias hierarquizadas em três grupos, de acordo com o tipo de intensidade de uso; oito classes, baseadas no grau de limitação de uso; quatro subclasses, segundo a natureza da limitação; e unidades de capacidade de uso, estabelecidas de acordo com as condições específicas que afetam o uso ou manejo. Quanto maior a hierarquia da categoria, a classificação indicará possibilidade de uso mais intensivo, ou então de menor restrição para determinada área (LEPSCH et al., 2015). Os níveis hierárquicos e o que eles representam são representados na Figura 01 e descritos a seguir.

Figura 01 - Esquema dos grupos, classes, subclasses e unidades de capacidade de uso do solo.



Fonte: adaptado de Peralta (1963).

- Grupos - estabelecem o grau de intensidade de uso das terras (A, B ou C):

Grupo A: terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e/ou reflorestamento e vida silvestre.

Grupo B: terras impróprias para cultivos intensivos, mas ainda adaptadas para pastagens e/ou reflorestamento e/ou vida silvestre, porém cultiváveis em casos de algumas culturas especiais protetoras do solo.

Grupo C: terras não adequadas para cultivos anuais, perenes, pastagens ou reflorestamento, porém apropriadas para a proteção da flora e fauna silvestre, recreação ou armazenamento de água.

- Classes de capacidade de uso (Figura 02) - definem o grau de limitação do uso (I, II, III, IV, V, VI, VII e VIII):

Classe I: terras cultiváveis, aparentemente sem problemas especiais de conservação;

Classe II: terras cultiváveis com problemas simples de conservação do solo;

Classe III: terras cultiváveis com problemas complexos de conservação do solo;

Classe IV: terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada, com sérios problemas de conservação do solo;

Classe V: terras adaptadas em geral para pastagens e/ou reflorestamento, sem necessidade de práticas especiais de conservação do solo, cultiváveis apenas em casos muito especiais;

Classe VI: terras adaptadas em geral para pastagens e/ou reflorestamento, com problemas simples de conservação, cultiváveis apenas em casos especiais de algumas culturas permanentes protetoras do solo;

Classe VII: terras adaptadas em geral somente para pastagens ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação;

Classe VIII: terras impróprias para cultura, pastagem ou reflorestamento, podendo servir apenas como abrigo e proteção da fauna e flora silvestre, como ambiente para recreação, ou para fins de armazenamento de água.

- Subclasses de capacidade de uso - distinguem a natureza da limitação de uso (classe seguida por letras minúsculas, "s", "e", "c", "a" que identificam as limitações:

s: limitações relativas ao solo;

e: limitações pela erosão presente e/ou risco de erosão;

c: limitações relativas ao clima;

a: limitações por excesso de água.

- Unidades: utiliza-se numeral arábico após a subclasse;

- Grupos de manejo: representam grupamentos de terra que deverão receber o mesmo manejo agrícola.

Figura 02 - Intensidades máximas de uso agrícola para as classes de capacidade de uso.

Sentido da adequação e das limitações	Classes de capacidade de uso	Sentido do aumento da intensidade de uso →								
		Vegetação nativa e áreas de proteção	Silvicultura e pastagem			Cultivo ocasional ou limitado e lavoura perene	Cultivo intensivo e lavoura anual			
			Limitado	Moderado	Intensivo		Problema de conservação			
							Complexo	Simple	Não aparente	
	I	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Máxima utilização racional do solo	
	II	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Máxima utilização racional do solo
	III	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Máxima utilização racional do solo
	IV	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Máxima utilização racional do solo
	V	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Máxima utilização racional do solo
	VI	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Máxima utilização racional do solo
	VII	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Máxima utilização racional do solo
	VIII	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Subutilização do solo	Máxima utilização racional do solo

Subutilização do solo
 Máxima utilização racional do solo
 Sobreutilização do solo

Fonte: adaptado de Lepsch et al. (2015).

Os grupos consideram o ordenamento das atividades agrícolas, por ordem decrescente de intensidade de uso, em lavouras anuais, lavouras perenes, pastagens/silvicultura e vegetação nativa/áreas de proteção. As terras do grupo A são limitadas pelas classes de I a IV, que indicam as restrições quanto às práticas de conservação. As restrições das terras do grupo B são indicadas pelas classes V a VII. Já o grupo C comporta somente a classe VIII (FUJIHARA, 2002).

As áreas que não possibilitam o desenvolvimento de vegetação são denominadas tipos de terreno e não são classificadas em nenhuma das oito classes de capacidade de uso. Nesse caso, enquadram-se afloramentos de rochas, áreas de empréstimo, áreas escavadas por ação antrópica, entre outros (LEPSCH et al., 2015).

A classificação da capacidade de uso do solo é realizada com base nos fatores limitantes gerais e realizada a partir dos atributos diagnósticos das terras, a saber: profundidade efetiva do solo, textura, permeabilidade do solo à água, declividade e erosão, cada um com seus respectivos graus de ocorrência, de acordo com as características e propriedades do perfil do solo (LEPSCH et al., 2015). Os fatores limitantes específicos são aqueles que ocorrem em

classes de solos ou regiões específicas ou que existe a necessidade de dar destaque para o fator limitante. Os fatores limitantes específicos, considerados são: erosão eólica, CTC, saturação por bases, pedregosidade e rochosidade, risco e frequência de inundação, hidromorfismo, gradiente textural e regime hídrico (LEPSCH et al., 2015).

Tendo em vista que todo afastamento das condições ideais para as culturas corresponde à presença de limitações à utilização agrícola dos solos, a determinação da capacidade de uso consiste em estabelecer a intensidade de variação de cada condição agrícola considerada, atribuindo-lhes graus de limitação em função do maior ou menor afastamento daquelas condições ideais, bem como a viabilidade de correção dos fatores limitantes gerais e específicos (LEPSCH et al., 2015).

Os critérios adotados para a classificação das classes de capacidade de uso do solo podem ser enquadrados em paramétricos ou sintéticos (YOUNG, 1976). O processo paramétrico considera os efeitos dos atributos individuais do solo, por meio de pesos ou parâmetros, e depois combina estes efeitos para obter a capacidade de uso. O oposto deste método é o processo sintético, que considera os atributos de uma gleba de solo como um todo, julgando com elas a sua adaptabilidade para uso intensivo com cultivos, pastagens e reflorestamento e comparando-a alternativamente com as definições das classes de capacidade de uso do solo até encontrar a classe que melhor se enquadre. Dessa forma, como processo sintético, a gleba pode ser classificada de acordo com o somatório dos graus de limitações que apresenta (LEPSCH et al., 2015).

No presente estudo optou-se pelo processo paramétrico, com o uso de uma tabela de julgamento indicadora dos fatores condicionadores da capacidade de uso do solo que devem ser diagnosticados através do levantamento do meio físico (fatores limitantes gerais e específicos) com seus diferentes graus de limitação, que servem de base para determinar as classes de capacidade (FRANÇA 1963; KLINGEBIEL, MONTGOMERY, 1961; LEPSCH et al., 2015; TAVEIRA et al., 2018; TAVEIRA et al., 2019).

A classificação das terras ajuda a identificar a melhor seleção de culturas para uma determinada área, e a capacidade de utilização das terras dá uma indicação da produtividade agrônômica potencial. No entanto, estas abordagens são mais pertinentes para sistemas agrícolas geridos com alta tecnologia.

Apesar de criteriosa, a metodologia de Lepsch et al. (2015) se trata de uma adaptação e, por isso, como apontam os próprios autores, possui limitações. Uma delas é que não prevê diferentes formas de manejo e novas tecnologias que permitem o uso das terras de forma mais intensiva, sem que haja degradação (TAVEIRA et al., 2019). Além disso, o sistema de

capacidade de uso é limitado quando utilizado em locais sob níveis de manejo tecnológico mais baixos e para determinados cenários socioeconômicos. Uma das formas de contornar essas limitações é, segundo os autores, adaptar o método de acordo com as características regionais de cada local. O uso de técnicas de mapeamento aéreo de alta resolução pode auxiliar este tipo de trabalho.

O estudo de Taveira et al. (2019) procurou adaptar a capacidade de uso do solo a sistemas agrícolas geridos com níveis de tecnologia baixos e intermédios. Os autores adaptaram critérios para três regiões de Minas Gerais, Brasil, cada uma representando um dos níveis de manejo. Os mapas de adequação do uso e manejo do solo foram usados para medir a correspondência de cada um deles com o mapa de erosão. Os critérios adaptados alteraram a distribuição espacial das classes de capacidade de uso da terra de diferentes maneiras. A correspondência entre o mapa de uso/manejo e o mapa de erosão aumentou de 71% para 88,5% quando os critérios foram adaptados para um nível médio de manejo. Também aumentou de 62,9% para 66,7% quando foram considerados os critérios adaptados a um nível baixo de manejo, refletindo melhor a erosão atual. Assim, a adoção de critérios de classificação adaptados para o planejamento do uso do solo em locais onde são comuns sistemas agrícolas com baixo e médios níveis de manejo são comuns, exigindo uma readaptação e reavaliação do sistema de capacidade de uso em função de fatores socioambientais.

2.2 PLANEJAMENTO CONSERVACIONISTA DE USO DO SOLO

O planejamento conservacionista do solo e da água corresponde à fase dinâmica do estudo (LEPSCH et al., 2015). Nesta etapa, o objetivo é maximizar a produção agrícola, utilizando de forma adequada a gleba agrícola, levando em conta os atributos do solo, do clima, da água e o ambiente. São avaliados aspectos relacionados à rede viária (caminhos, estradas e carreadores), benfeitorias, forma e tamanho da propriedade, localização, acesso a água e outros usos do solo (por exemplo retirada de argila para confecção de tijolos para construção de casas). Além disso, as condições sociais e econômicas, baseadas em bibliografia e observações de campo, também devem ser levadas em consideração (LEPSCH et al., 2015). O planejamento conservacionista também deve estar engajado nos Objetivos De Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, considerado também os serviços ecossistêmicos fornecidos pela agricultura sustentável (LAL et al., 2021; ZHANG et al. 2007).

Em decorrência dos problemas gerados a partir do manejo inadequado do solo, há a necessidade de intervenção utilizando práticas conservacionistas mecânicas, vegetativas e

edáficas (DE MARIA et al., 2019). Dessa forma, os efeitos da degradação do solo podem ser amenizados e a disponibilidade de água, o estoque de carbono, a fertilidade do solo e a diversidade da cobertura vegetal, restaurados.

Segundo Ackermann et al. (2012), a adoção de boas práticas de conservação do solo e da água no planejamento do uso da terra, apresenta uma importante contribuição para a adaptação e resiliência dos agricultores frente às mudanças climáticas e redução da vulnerabilidade de populações mais frágeis, como aquelas localizadas na região do Sahel, onde o Mali está localizado. Estudos têm sido conduzidos nessa e em outras regiões do continente relatando os efeitos positivos da adoção de práticas conservacionistas, como aumento da infiltração de água e redução da perda de solos (ADIMASSU et al., 2017; KPADONOU et al., 2017; WOLKA, MULDER, BIAZIN, 2018; TAYE et al., 2013), e também as dificuldades em sua implementação, como a falta de dados em diversas localidades, prejudicando a elaboração de políticas públicas e tomada de decisão (MANGO et al., 2017; NYAMEKYE et al., 2018; TEFERA, STERK, 2010).

Em Burkina Faso, Nyamekye et al. (2018) analisaram diferentes práticas de conservação de solo e água e seus efeitos na produtividade agrícola e restauração ambiental. Um dos maiores obstáculos enfrentados por agricultores do país para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável é a erosão do solo. Portanto, as práticas adotadas tiveram como foco o controle do escoamento superficial, aumento do teor de água no solo e aumento da fertilidade. O resultado foi a transformação de terras áridas em produtivas e a promoção da segurança alimentar de aproximadamente três milhões de pessoas. Os autores observaram que as práticas variam com as condições de cada local, como quantidade e intensidade de chuva, tipo de solo e topografia. Além disso, notaram que apesar de alguns agricultores utilizarem práticas conservacionistas há décadas, elas foram mais efetivas e apresentaram melhores resultados quando tiveram suporte de organizações governamentais e não governamentais.

Estudos desenvolvidos por Ippolito et al. (2021), propõem um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para a região sudoeste do Níger, onde mapas de solos tanto tradicionais quanto digitais são limitados devido à baixa quantidade de informações e descrições sobre os perfis de solo. A metodologia é voltada para a análise dos solos e suas propriedades físicas, como declividade e textura, e pode ser facilmente replicada em outras localidades. Ela fornece uma primeira aproximação sobre o potencial agrícola da região e identifica suas limitações. Os autores destacam que a qualidade dos dados de entrada é importante, pois quanto melhor a resolução dos dados mais confiável será o uso dessa metodologia na tomada de decisão.

O Mali, assim como Burkina Faso e Niger, está localizado no oeste do continente africano, ao sul do Deserto do Saara. Os países dessa região apresentam graves problemas de degradação dos solos devido à erosão hídrica, que são agravados pelo manejo incorreto e a pressão pelo uso do solo. Esse conjunto de problemas afeta a produtividade dos solos, gerando balanços negativos de carbono e nutrientes, e é uma ameaça à sustentabilidade da produção agrícola (SIDIBÉ, 2013; ZOUGMORÉ, MANDO, STROOSNIJDER, 2009).

2.3 FOTOGRAMETRIA DE ALTA RESOLUÇÃO NA AVALIAÇÃO DO USO E COBERTURA DO SOLO

As metodologias utilizadas na representação de dados geoespaciais abrangem um conjunto de atividades, desde a aquisição dos dados à geração do produto final. Com a melhoria dos instrumentos e dos processos para obtenção dessas informações ao longo do tempo, houve o aprimoramento das atividades de mapeamento.

Dentre os diferentes métodos de aquisição e de processamento de dados para a geração de mapas está a fotogrametria. O termo, cunhado em 1855 pelo geógrafo Kersten, originalmente significa "medir graficamente usando luz" e deriva das palavras gregas *phos* (luz), *gramma* (escrever) e *metron* (medir). Com o tempo e o surgimento de novas tecnologias, a técnica evoluiu, migrando da fotogrametria analógica para a analítica e, posteriormente, para a digital (SILVA, 2015, TOMMASELLI, 2009). Assim, a “American Society for Photogrammetry and Remote Sensing” propôs uma definição mais abrangente ao termo, descrevendo fotogrametria como a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre objetos físicos e o ambiente através de processos de registro, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outros fenômenos (ASPRS, 2018).

Devido aos avanços tecnológicos ocorridos nas últimas décadas, Silva (2015) ressalta que o uso de métodos fotogramétricos a partir de imagens digitais obtidas por VANT tem aumentado. Isso se deve às suas vantagens técnicas e econômicas, como sua flexibilidade, alta resolução espacial e temporal, além da facilidade de uso e adaptação às necessidades de cada projeto (BURDZIAKOWSKI, 2018; CÂNDIDO et al., 2015). Além disso, não enfrenta problemas como a cobertura do terreno por nuvens, como acontece com imagens de satélite (IIZUKA et al., 2018).

A fotogrametria aérea por VANT tem sido utilizada para se obter informações do terreno com alta qualidade e precisão em relação às técnicas de sensoriamento remoto orbital. Em mapeamentos mais complexos, com áreas mais heterogêneas, imagens de média resolução

espacial não são suficientes para mapeamentos de cobertura do solo, por exemplo. Por não conseguirem captar feições de pequenas dimensões, menores do que a área do pixel, há dificuldade na obtenção de informações de campo e na caracterização detalhada da área de estudo (CÂNDIDO et al., 2015).

O uso de mapas e imagens aéreas com alta resolução espacial ajuda a entender as mudanças do uso da terra, oferecendo informações valiosas para quantificar os impactos das ações antrópicas sobre o solo (LIU et al., 2018). Informações de alta qualidade sobre a vegetação antiga e atual obtidas através de fotos aéreas, mapas e observações de campo podem melhorar a precisão da classificação do uso da terra de uma grande área, sendo essencial para garantir a conservação dos ecossistemas (VARGA et al., 2014).

Imagens de alta resolução geradas por VANT têm sido utilizadas para estudos de erosão hídrica, uso da terra, manejo de culturas e conservação do solo na região do Sahel e diversas partes do mundo (AMOGU, 2014; CHEN et al., 2020; FORKUOR et al., 2017; HAULA, AGBOZO, 2020; MORGAN et al., 2021; ZHANG et al., 2022). Em estudos desenvolvidos no sudoeste do Níger, Belcore et al. (2022) utilizaram fotogrametria aérea por VANT para gerarem um mapa de cobertura da terra de alta resolução de vilarejos rurais propensos a inundações. Por se tratar de uma área com cobertura com alta heterogeneidade, a alta resolução espacial foi importante para os autores realizarem a quantificação precisa das infraestruturas, alcançando uma classificação satisfatória.

2.4 ASPECTOS ECONOMICOS E AMBIENTAIS DA AGRICULTURA NO MALI

A agricultura é uma importante atividade econômica para a maioria das famílias no Mali. A produção de milho, amendoim, sorgo, arroz e milheto como grãos de consumo e a cultura do algodão para exportação respondem por mais de 35% do PIB do país e 73% de sua força de trabalho total (BENJAMINSEN et al., 2010; FAO, 2017). No entanto, sua produção agrícola depende quase inteiramente da agricultura e pecuária de sequeiro, o que a torna muito vulnerável aos padrões climáticos (LAHMAR et al., 2012; TRAOERE, BIRHANU, 2019).

Além disso, tem havido uma lenta adoção à tecnologia levando ao aumento da intensidade do uso da terra. Seus rendimentos permanecem entre os mais baixos do mundo e o aumento na produção de cereais ao longo dos anos não foi explicado pelo aumento real do rendimento (40% de aumento), mas pela expansão (representa 60% do aumento na produção de grãos) (BUTT et al., 2005).

O contorno climatológico de chuvas demarca amplamente o limite entre os meios de subsistência baseados na agricultura e pastoreio. As zonas de subsistência do norte, no deserto, recebem menos de 400 mm ano⁻¹, portanto, historicamente dependem do pastoreio e do comércio transaariano. No entanto, ao sul o cenário é bem diferente. Os mais de 800 mm ano⁻¹ de precipitação permitem o cultivo do algodão, uma cultura de rendimento historicamente importante, e também do milho, milheto, sorgo, arroz e amendoim (GIANNINI et al., 2017).

Segundo Rist et al. (2007), o Mali apresenta como características, uma diversidade de organizações tradicionais que representam diferentes grupos étnicos; presença crescente de organizações funcionais de iniciativas de desenvolvimento; a gestão dos recursos naturais é familiar e parcialmente baseada na aldeia, apresentando baixos níveis de interferência das instituições governamentais e interferência relativamente alta das autoridades tradicionais. A produção de alimentos é feita com base em zonas agroecológicas diversificadas, usadas principalmente para sistemas de cultivo de grãos, e as árvores estão espalhadas na paisagem dominada pela agricultura (GAKOU et al., 1994; KALINGANIRE et al., 2007; LAI, KHAN, 1986).

Considerando que o Mali apresenta graves problemas de degradação do solo, além de fortes limitações ao seu uso, a adaptação de um sistema de capacidade de uso específico para a realidade do país, aliado a um planejamento racional de uso do solo, com enfoque no manejo conservacionista, se faz necessário para vencer essas barreiras (COULIBALY, 2021). Assim, é possível garantir solos férteis e com qualidade, assegurando a segurança alimentar da população malinesa e a provisão de serviços ambientais.

2.5 PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO MALI E O PROJETO COTTON-SOLOS

Segundo Benjaminsen et al. (2010), a partir do final dos anos 1950, o Mali teve um aumento expressivo na produção de algodão e de cereais, se tornando uma “história de sucesso” dentro do continente africano. O aumento na produção agrícola, no entanto, teve impactos na degradação ambiental, causando aumento da erosão e perda da fertilidade do solo. Segundo os autores, desde os anos 1990 a produtividade do algodão vem diminuindo enquanto o uso de fertilizantes aumenta, o que pode ser considerado um indício do esgotamento dos solos.

Nesse contexto surgiu o Projeto Cotton-4, uma cooperação técnica entre Brasil, Benin, Burkina Faso, Chade e Mali, com o objetivo principal de revitalizar a cadeia produtiva do algodão nos quatro países africanos, com foco na sustentabilidade. Para isso, o projeto atua em

três frentes: controle biológico de pragas, manejo integrado do solo e gestão de variedades (ABC, 2014).

Pautado pelo critério da sustentabilidade, o programa não é limitado apenas aos aspectos tecnológicos e produtivos da cultura do algodão. Para atingir o impacto desejado na população dos países participantes, as propostas de intervenção devem ter como base variáveis econômicas, ambientais e de segurança alimentar. Entre alguns dos resultados gerados até o momento estão as capacitações oferecidas a centenas de técnicos dos países africanos, o desenvolvimento e adaptação de novas formas de cultivo, desenvolvimento de novas variedades e melhoria de equipamentos e infraestrutura. O Brasil também foi beneficiado com a parceria, importando tecnologias como o sistema de aproveitamento de águas de Chade (ABC, 2014).

Apesar dos resultados positivos, notou-se que para a produção algodoeira alcançar seu potencial produtivo, era preciso focar as atenções à melhora da qualidade dos solos. Por este motivo, em 2018, surgiu o projeto "Preservação do Potencial Produtivo das Zonas Produtoras de Algodão no Mali - Cotton Solos". Com enfoque na conservação do solo e da água e manejo da fertilidade do solo, o projeto é coordenado pela Agência Brasileira de Cooperação (ABC) do Ministério das Relações Exteriores, em parceria com a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e o governo do Mali, por meio da Compagnie Malienne pour le Développement des Textiles (CMDT) (ABC, 2019).

A iniciativa tem como objetivo contribuir com o desenvolvimento socioeconômico do país a partir de um amplo esforço multilateral e promover melhores condições de vida à população rural, contribuindo para a redução do êxodo rural e migração de agricultores em busca de novas áreas de produção. Além disso, o projeto promove o compartilhamento de conhecimento técnico e de tecnologias utilizadas no Brasil em contextos semelhantes aos do Mali, de modo a aumentar a produtividade de algodão utilizando práticas de conservação do solo e da água e do manejo da fertilidade do solo mais eficientes e sustentáveis (ABC, 2019).

Neste contexto, as ações do presente estudo acontecem nas aldeias agrícolas de Siani em Sikasso, e Bandiagara II, em Koutiala, no Mali, região ocidental da África, onde estão sendo desenvolvidos estudos preliminares de levantamento das feições de solo e paisagem com o auxílio de VANT, da capacidade de uso do solo e uso planejado do solo, objetivando a implantação de práticas de conservação do solo e da água e manejo da fertilidade do solo. O estudo tem como objetivo também gerar informações para implantação de práticas conservacionistas do solo, no modelo de Unidades Técnico Demonstrativas (UTD) e a capacitação de técnicos e agricultores na difusão das melhores práticas objetivando o uso planejado da aldeia e a sustentabilidade dos agroecossistemas.

É importante ressaltar que, apesar do projeto ter como foco a conservação e manejo da fertilidade do solo para a cultura do algodão, como grande parte da população malinesa vive do setor agrícola, as ações também tem como benefícios a introdução de plantas de cobertura com benefícios múltiplos na conservação do solo, melhoria da fertilidade do solo e na alimentação humana e dos animais, promover o consorcio e rotações entre o algodão e espécies vegetais de valor alimentar humano, como o milho, milheto, sorgo, amendoim, guandu, caupi e palma forrageira, que beneficiarão também a população como um todo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1.1 Localização, clima e relevo

O trabalho foi realizado nas aldeias agrícolas Siani e Bandiagara II, localizadas, respectivamente, nas regiões administrativas de Sikasso e Koutiala, ao sul do Mali, na África Ocidental (Figura 03). Ambas as aldeias são objeto de estudo do Projeto Cotton Solos, parceria entre a Universidade Federal de Lavras (UFLA), Companhia Malinesa de Desenvolvimento Têxtil (CMDT) e Agência Brasileira de Cooperação (ABC).

O clima da região de Sikasso é classificado, segundo Köppen-Geiger, como Aw (tropical úmido e quente), com altas temperaturas ao longo do ano, estação seca no inverno e verão chuvoso (Figura 04) (BECK et al., 2018). No período chuvoso (de abril a outubro, com pico em julho e agosto) a precipitação média é de 80 mm por mês, e nos meses secos (de novembro a março), quase não há registros de chuva. A precipitação média anual é de 578 mm e a temperatura média é de 27 °C. O mês de abril é caracterizado como o mais quente do ano, alcançando máximas de 39,6 °C. Já o mês de janeiro é o que apresenta as temperaturas mais amenas, com mínimas de 19 °C e umidade próxima de 15% (WEATHER ATLAS, s.d.). A Figura 05 representa a média diária dos registros de vento (velocidade média horária, velocidade máxima e rajadas de vento) da estação meteorológica localizada em Siani, no período entre julho de 2022 a março de 2023.

Figura 03 - Localização das aldeias Bandiagara II (a) e Siani (b), Mali, África Ocidental.

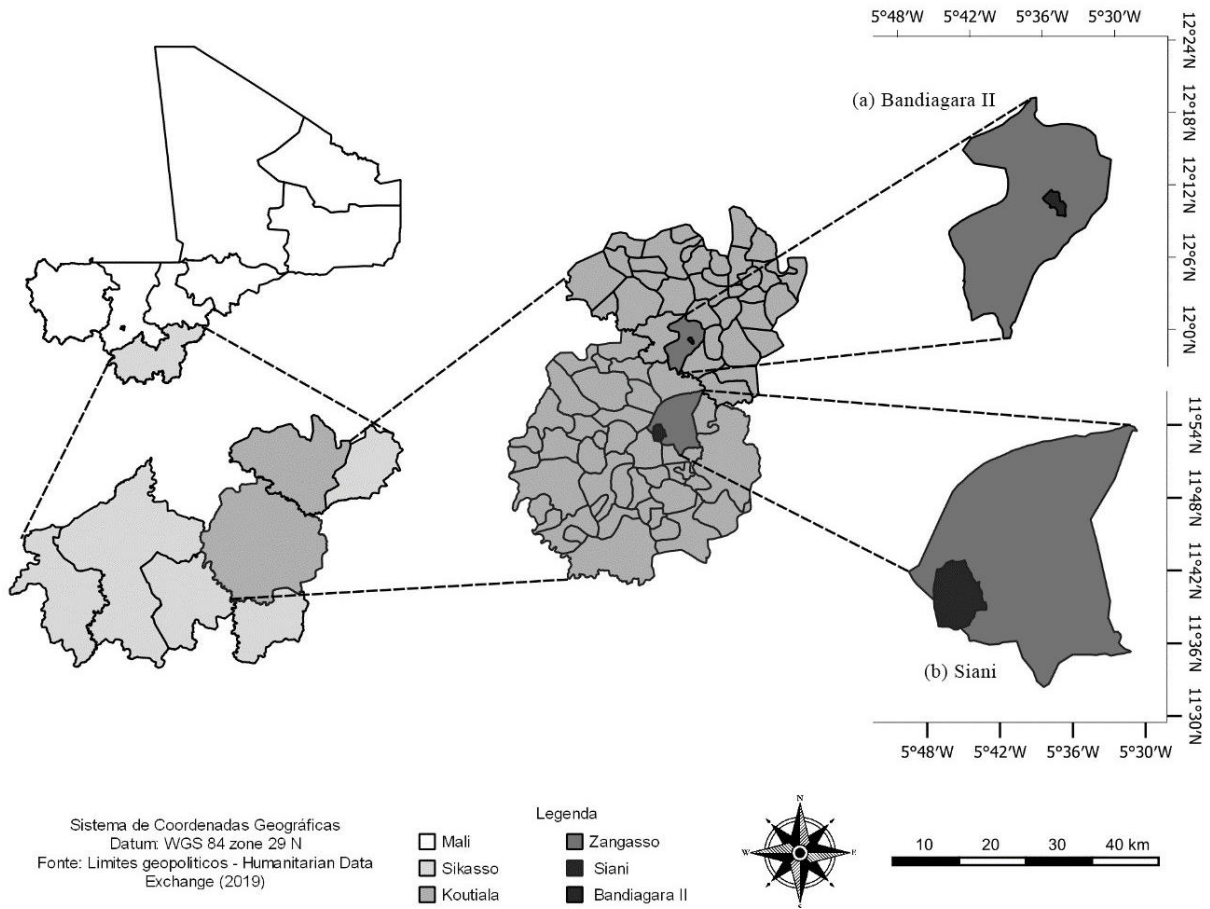
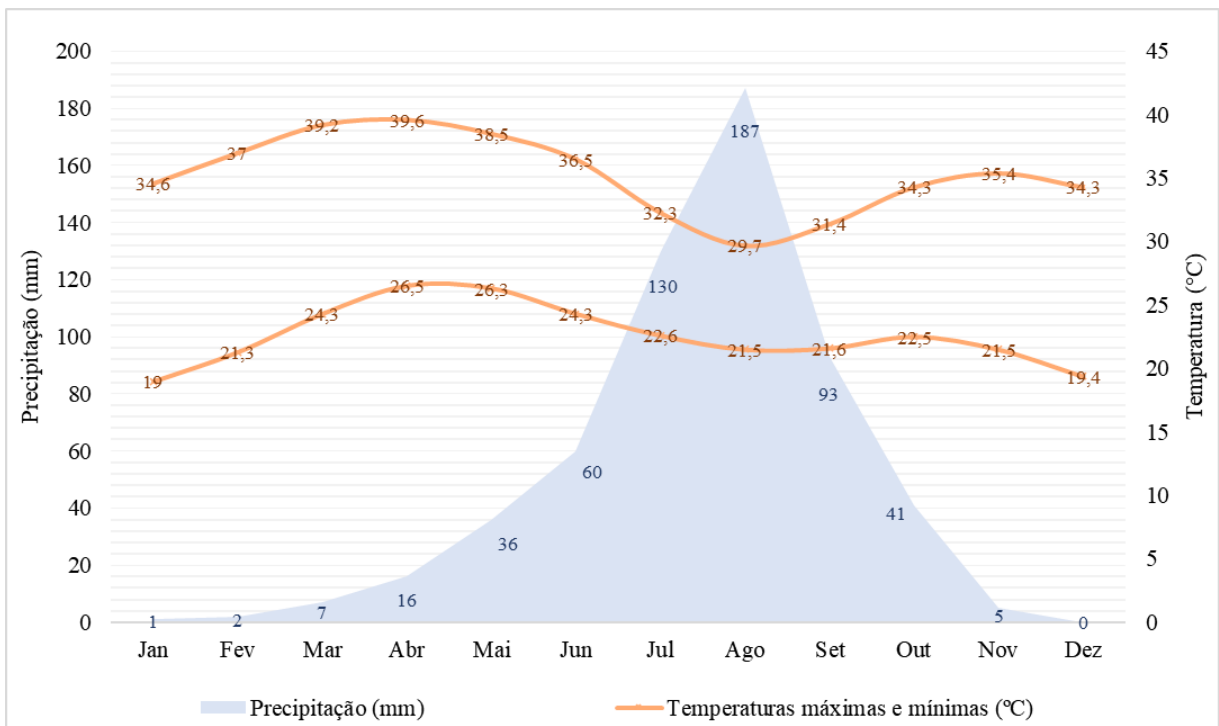
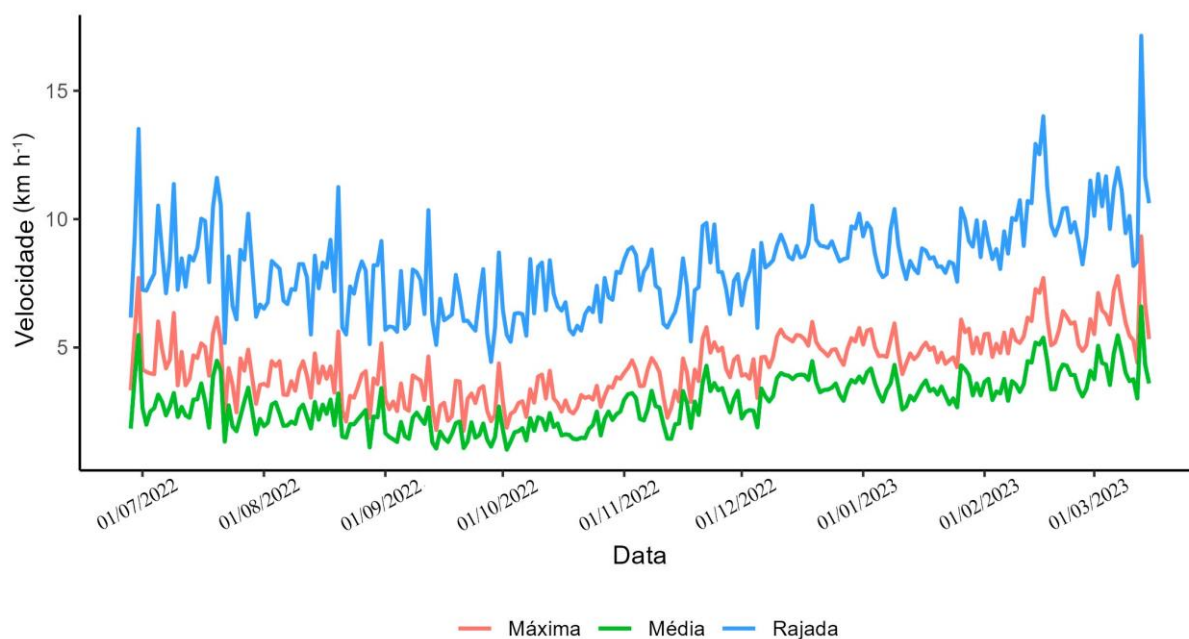


Figura 04 - Variação de temperatura e precipitação anuais na região de Sikasso, Mali.



Fonte: Adaptado de Weather Atlas, s.d. (2022).

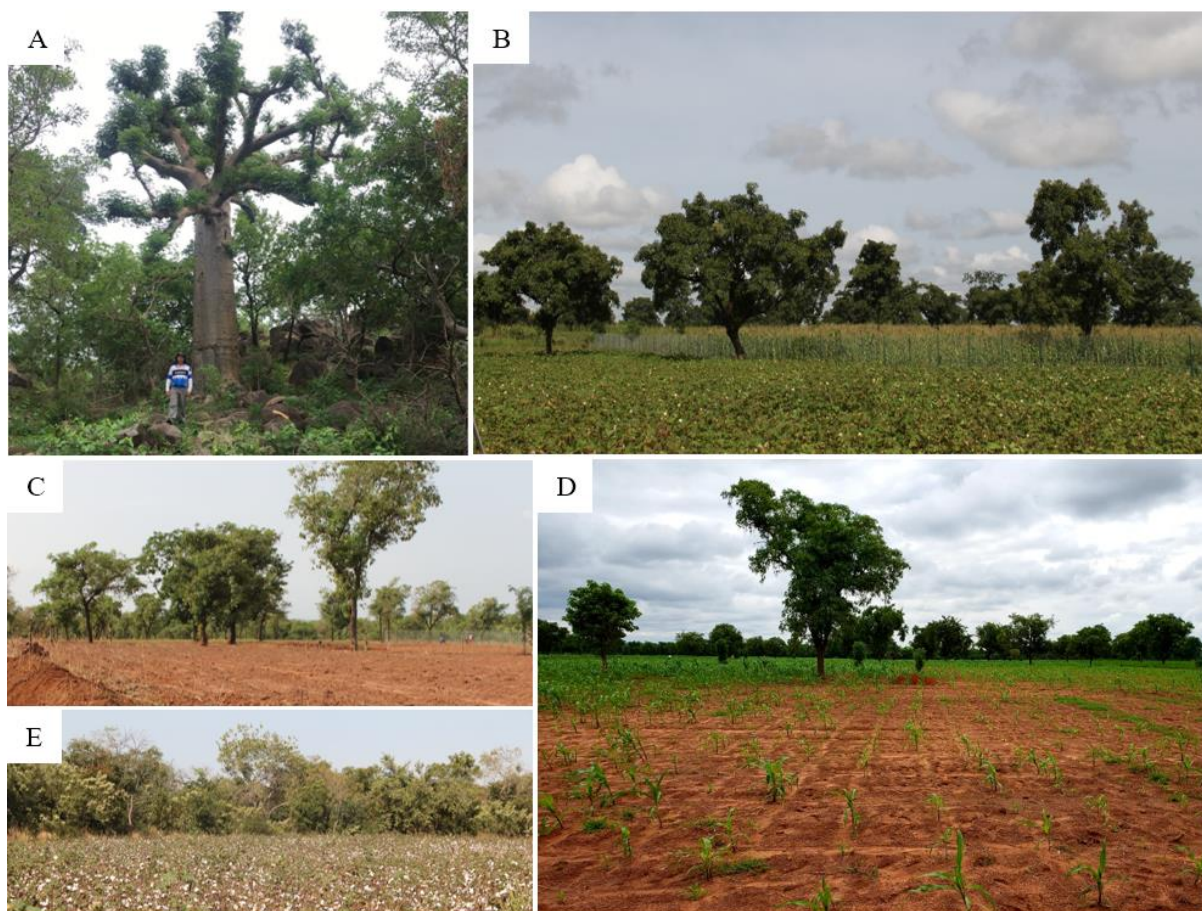
Figura 05 - Velocidade do vento registrada na estação meteorológica de Siani (médias diárias).



O Mali apresenta topografia composta predominantemente por planícies e planaltos, porém ao sul a paisagem exibe fisiografia montanhosa, com destaque para o planalto Bandiagara e áreas escarpadas no Sudeste, e as montanhas Hombori no extremo sudeste (VIRGINIA DEPARTMENT OF EDUCATION, s.d.). Nas áreas de estudo, predominam os relevos plano e suave ondulado, com declividade de até 2% e de 2 a 5%, respectivamente, com cotas altimétricas em torno de 330 m.

A vegetação nativa encontrada nas aldeias é do tipo estepe arbustiva, típica de ambientes de clima semiárido, com muitos arbustos e gramíneas. Em Siani, localizada um pouco mais ao sul, a vegetação é mais próxima daquela encontrada nas savanas tropicais, com arbustos mais altos e menos espaçados. Em relação ao estrato arbóreo, as principais espécies de interesse econômico são néré (*Parkia biglobosa* (Jacq.) Benth.), karité (*Vitellaria paradoxa* C.F. Gaertn.) e baobá (*Adansonia* spp.). Na Figura 06, observa-se a paisagem e o tipo de vegetação encontrada na aldeia Siani. É possível observar também, as árvores nativas espalhadas na paisagem dominada pela agricultura (GAKOU et al., 1994; KALINGANIRE et al., 2007; LAI, KHAN, 1986).

Figura 06 - Registros da paisagem observada na aldeia Siani, Mali.



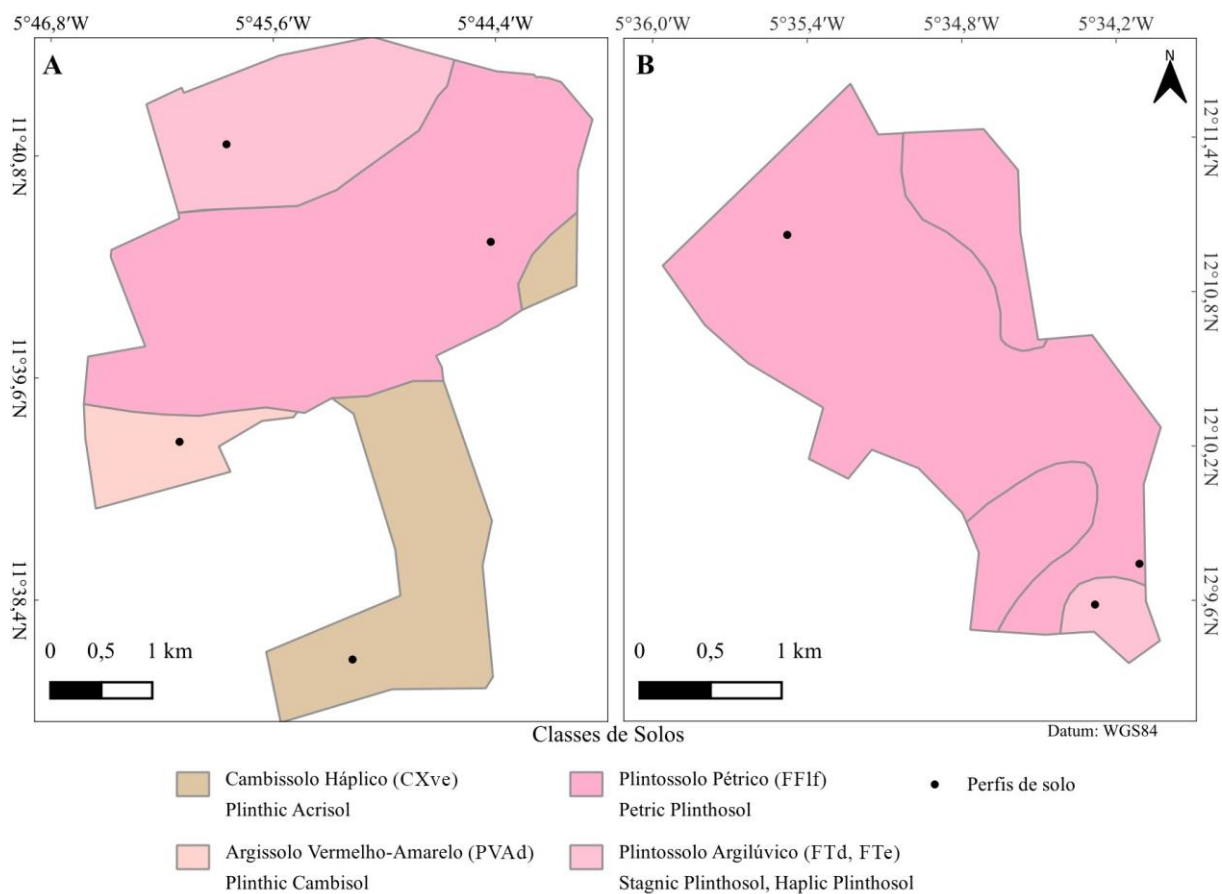
A – Baobá (*Adansonia* spp.); B e C – árvores nativas em meio às áreas agrícolas; D – lavoura de milho em meio à arbustos e árvores; E – lavoura de algodão e, ao fundo, vegetação nativa.

3.1.2 Solos

Foram estudados sete perfis de solo em ambas as aldeias (Figura 07). Destes, cinco perfis foram classificados como Plintossolos e outros dois como Cambissolos e Argissolos de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS) e Plinthosols, Acrisols e Cambisols segundo o World Reference Base for Soil Resources (WRB/FAO) (IUSS WORKING GROUP, 2015; SANTOS et al., 2023). A descrição morfológica completa de cada perfil encontra-se no Apêndice A para a aldeia Siani e no Apêndice B para a aldeia Bandiagara II.

As análises químicas e físicas do solo foram realizadas segundo as metodologias recomendadas pelo Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (TEIXEIRA et al., 2017).

Figura 07 - Mapas de solos das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).



3.1.3 Atividade agrícola

As aldeias de Siani e Bandiagara II, apresentam condições ambientais semelhantes e que favorecem o uso agrícola do solo para diversas culturas, com predomínio da agricultura familiar para o autoconsumo. No entanto, o baixo abastecimento de água na região é um problema, uma vez que as chuvas são mal distribuídas e se concentram entre os meses de junho e outubro. O escoamento superficial pode causar erosão laminar nas áreas de produção agrícola e erosão em sulco nas áreas de estradas (Kosmas et al., 2000).

A principal cultura comercial é o algodão. Entre as culturas utilizadas na alimentação, estão: milho, sorgo, milheto, amendoim, pomares (manga, caju, banana e frutas nativas) e horticultura.

O calendário agrícola reflete a dependência da agricultura às chuvas e, conseqüentemente, a vulnerabilidade frente a eventos climáticos extremos. De forma geral, as operações culturais começam no final de maio e terminam no final de outubro, como descrito abaixo segundo informações da CMDT e do Projeto Cotton-Solos:

- de 20 de maio a 30 de junho: períodos ideais para aração e plantio dos cultivos;

- de 15 de junho a 31 de julho: períodos de manejo e adubação mineral;
- de 15 de julho a 30 de outubro: períodos de proteção fitossanitária do algodoeiro e demais culturas;
- do final de setembro até o final de janeiro: período de colheita.

3.2 LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAF MÉTRICO

As imagens aéreas foram adquiridas com VANT modelo DJI Phantom 4 RTK. O VANT possui câmera digital integrada modelo FC6310R e estabilizada por gimbal com 20-megapixel (5472×3648) e sensor CMOS de 1" RGB. A obtenção das imagens foi realizada em outubro de 2019, com os voos sendo realizados de forma autônoma. A altura de voo foi de 120 m, com distâncias entre as amostras no solo (também conhecida por "Ground Sampling Distance", GSD) de $3,4 \text{ cm pixel}^{-1}$. Foram adquiridas um total de 6.803 imagens em Bandiagara II e 16.484 em Siani, com sobreposição frontal e lateral de 70%.

A geração de nuvens de pontos tridimensionais (3D) foi realizada utilizando a técnica de fotogrametria por "structure-from-motion" (SfM), que permite a reconstrução da topografia a partir de imagens distribuídas e orientadas aleatoriamente de câmeras não calibradas (JAMES, ROBSON, 2012; FONSTAD et al., 2013; AGÜERA -VEGA et al., 2018).

A partir das nuvens de pontos, foram gerados os modelos digitais de elevação (MDE) e ortomosaicos de ambas as áreas de estudo, com resolução centimétrica ($3,4 \text{ cm pixel}^{-1}$). Todo o processamento foi realizado usando o software de SfM "Agisoft Metashape Professional v 1.8".

3.3 ELABORAÇÃO DOS MAPAS

Foi feito o mapeamento aéreo de toda a área de Bandiagara II (aproximadamente, 900 ha) e uma grande extensão de Siani (aproximadamente, 1.800 ha).

Os ortomosaicos gerados a partir das imagens aéreas foram utilizados como fonte para elaboração dos seguintes mapas em ambas as aldeias: solos, índice de vegetação, erosão, atributos de fertilidade, uso e cobertura do solo, capacidade de uso do solo e adequação de uso do solo. Os mapas foram ajustados à escala de 1m a partir do MDE e, para isso, foi utilizado o software QGIS v.3.16.4.

Foram utilizados também arquivos vetoriais no formato "shapefile" dos polígonos das aldeias e limites geopolíticos disponibilizados gratuitamente. O sistema de referência de

coordenadas utilizado foi o Sistema de Coordenadas Projetadas WGS 84 UTM zona 29N, para Siani, e zona 30N, para Bandiagara II, e, através da função “r.report” (GRASS Development Team, 2022), obteve-se os valores em área das classes de estudo.

Além disso, foram elaborados os mapas de localização e de declividade, utilizando como fonte limites geopolíticos e imagens de satélite. Para os mapas de solos e dos atributos de fertilidade também foram utilizadas informações do levantamento pedológico e de coletas de campo. As imagens aéreas obtidas através do VANT foram utilizadas também para avaliações visuais de ocorrência de feições superficiais do solo como caminhos, estradas, construções, pedregosidade, rochiosidade, rede de drenagem, distribuição das arvores nas glebas cultivadas, entre outros aspectos.

3.3.1 Índice de vegetação e erosão

O mapeamento da erosão foi feito a partir de uma metodologia mais direta, que pode ser dividida em duas partes. A primeira parte é baseada na proposta de Phinzi e Ngetar (2017), que utilizaram diferentes índices de vegetação (NDVI, SAVI e SARVI) extraídos a partir de imagens de satélite (Landsat 8 Operational Land Imager) para a identificação da distribuição espacial da erosão na África do Sul. Aqui, foi utilizado o “Modified Green Red Vegetation Index” (MGRVI), de grande capacidade para discriminação de superfícies vegetadas e não vegetadas usando apenas bandas do visível (GIL, PACHECO, 2020; XU et al., 2022). A segunda parte da metodologia envolveu a integração de trabalhos de campo com métodos de classificação automática supervisionada sobre as áreas de solo exposto extraídas no passo anterior. Isto permitiu a discriminação precisa dos tipos de erosão predominantes na área de estudo, além da construção de um mapa de erosão que pôde ser incorporado na análise da capacidade de uso.

O índice de vegetação MGRVI, desenvolvido por Bendig et al. (2015), foi utilizado como um classificador com a finalidade de identificar os locais onde há solo exposto. De acordo com os autores, esse índice pode ser definido como a diferença normalizada da reflectância verde ao quadrado e da reflectância vermelha ao quadrado (Equação 01).

Equação 01 – “Modified Green Red Vegetation Index”

$$\text{MGRVI} = \frac{\text{Green}^2 - \text{Red}^2}{\text{Green}^2 + \text{Red}^2}$$

Onde MGRVI é o índice adimensional com limites especificados na Tabela 01; Green

corresponde ao componente verde e Red ao componente vermelho de um pixel colorido RGB.

A escolha desse índice se deu pois, segundo Gil e Pacheco (2020), o MGRVI apresenta alto potencial para diferenciar coberturas do solo em imagens RGB capturadas através de VANT. Além disso, comparando a precisão de diversos índices de vegetação na avaliação da desertificação de pastagens a partir de VANT, Xu et al. (2022) verificaram que o MGRVI apresentou maior precisão em grau moderado de desertificação do que outros índices.

As classes do índice foram definidas de acordo com o vigor da vegetação, como pode ser observado na Tabela 01.

Tabela 01 - Classificação do índice de vegetação MGRVI.

Classes de vigor	Limites
Solo exposto	-1 a -0,028
Baixíssimo vigor	-0,028 a 0,068
Baixo vigor	0,068 a 0,133
Médio vigor	0,133 a 0,222
Alto vigor	0,222 a 0,400

Levando em consideração que onde há cobertura vegetal, a erosão hídrica é mínima, essa primeira etapa teve como objetivo extrair a classe solo exposto (limites entre -1 e -0,028) para, então, identificar as áreas onde há erosão e determinar seus tipos. Para a classificação dos tipos de erosão, foi utilizada a técnica de classificação supervisionada através do “Semi-Automatic Classification Plugin” (SCP) no QGIS (CONGEDO, 2021). Através da análise fotointerpretativa dos ortomosaicos, foram selecionadas, aproximadamente, 10 amostras de cada um dos tipos mais significativos de erosão hídrica presentes: laminar e em sulcos.

Para a diferenciação e seleção das amostras, considerou-se que, além do solo exposto, na erosão em sulcos há formação de canais, mais ou menos profundos. Já no processo de erosão laminar, o desgaste do solo é mais uniforme, podendo haver ou não retirada das camadas superficiais, dependendo do seu grau de evolução.

3.3.2 Declividade

Para os mapas de declividade foi utilizado o modelo digital de elevação ALOS Palsar com resolução de 12,5 m. As classes de declividade foram definidas de acordo com a Tabela 02.

Tabela 02 - Classificação da declividade.

Classes de relevo	Declividade (%)
Plano	0 - 2
Suave ondulado	2 - 5
Ondulado	5 - 10
Moderadamente ondulado	10 - 15
Forte ondulado	15 - 45
Montanhoso	45 - 75
Escarpado	> 75

3.3.3 Uso e cobertura do solo

O mapa de uso e cobertura do solo foi feito através do processo de fotointerpretação, utilizando-se o ortomosaico de alta resolução, além de chaves foto interpretativas, como cor, forma, textura, padrão e outras características dos alvos classificados. O mapa foi produzido com as seguintes classes: lavoura perene; lavoura anual; pastagem; vegetação nativa; área não vegetada; estradas; área urbanizada (habitações) e corpos d'água.

3.3.4 Atributos químicos, físicos e morfológicos

Foram coletadas 20 amostras de solo na aldeia Siani e 21 amostras na aldeia Bandiagara II. A partir dos resultados das análises de fertilidade, foram elaborados mapas para os seguintes atributos: CTC (capacidade de troca de cátions), V (saturação por bases) e MOS (matéria orgânica do solo). A metodologia utilizada foi interpolação pela ponderação do inverso da distância (IDW) e a classificação desses atributos foi feita conforme os limites estabelecidos na Tabela 03.

O pH (H₂O) do solo foi determinado na relação solo solução igual a 1:2,5, Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis foram determinados de acordo com a metodologia descrita por McLean et al. (1958). O P e K disponíveis foram extraídos com Mehlich-1 e a MOS foi determinada de acordo com Walkley, Black (1934).

Tabela 03 - Classes e limites dos atributos saturação por bases (V), capacidade de troca de cátions (CTC) e matéria orgânica no solo (MOS).

Atributos	Classes	Limites
V (%)	Alta	≥ 75
	Média	50 – 75
	Baixa	25 – 50
	Muito baixa	< 25
CTC (cmol _c dm ⁻³)	Alta	> 8
	Média	4 – 8
	Baixa	< 4

	Muito alta	> 70,00
	Alta	40,10 – 70,00
MOS	Média	20,10 – 40,00
(g kg ⁻¹)	Baixa	7,10 – 20,00
	Muito baixa	≤ 7,00

Em relação aos atributos morfológicos, a profundidade efetiva foi classificada de acordo com as descrições pedológicas e observações de campo, segundo metodologias de Lepsch et al. (2015) e Santos et al. (2023). Já a classificação da pedregosidade e rochosidade, foi feita através da fotointerpretação dos ortomosaicos de alta resolução e confirmada por registros de campo.

Para a obtenção da infiltração da água no solo foi utilizado o aparelho “Mini Disk Infiltrometer”, que mede a condutividade hidráulica não saturada do solo conforme Kirkham (2005) e Robichaud et al. (2008). Em Siani foram feitas, ao todo, 12 medições nos quatro perfis de solo, sendo três repetições em cada um. Na Aldeia Bandiagara II foram 9 medições ao todo, também com três repetições em cada perfil de solo. A taxa de sucção utilizada foi de 2 cm em todas as repetições. O cálculo da infiltração foi determinado por meio da planilha macro disponível em Decagon Devices (2016).

O índice de encrostamento (S) foi calculado a partir dos resultados das análises químicas das amostras, utilizando a Equação 02, conforme Pieri (1989) e Valentin e Bresson (1997).

Equação 02 - Índice de encrostamento

$$S = \frac{(MOS * 100)}{(ARG + SILTE)}$$

Onde S é o índice de encrostamento, MOS é o teor de matéria orgânica do solo (%), ARG é o teor de argila no solo (%), SILTE é o teor de silte nos solos (%).

3.4 SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO DO SOLO

Através do processo paramétrico foram elaboradas as tabelas de julgamento (Tabelas 04 e 05) em um processo subjetivo, mas habilidoso e criterioso, com a participação de técnicos experientes em pedologia, conservação e manejo do solo.

O mapa de capacidade de uso foi feito através da sobreposição dos mapas de solos, declividade e erosão, utilizando o software QGIS v. 3.16.4. Os três arquivos vetoriais foram sobrepostos por meio da ferramenta interseção, obtendo-se um outro arquivo onde cada polígono foi caracterizado por um conjunto próprio de atributos. Em cada polígono do mapa

resultante, foram feitos delineamentos indicando as variações nos perfis de solos, na declividade e na erosão sofrida, de forma que toda a área das aldeias foi dividida em unidades de mapeamento (UM) que variam de acordo com a extensão de cada um desses fatores.

A classificação foi feita individualmente, para cada UM, utilizando as tabelas de julgamento dos fatores limitantes gerais (Tabela 04) e específicos (Tabela 05). Em cada UM, diferentes critérios determinaram enquadramento simultâneo em diferentes classes de capacidade de uso. A classificação final foi definida pelo critério mais restritivo, identificado pela classe (numeral romano) mais elevada e pelas subclasses (letras minúsculas após o numeral romano) que definiram esse enquadramento.

3.4.1 Critérios diagnósticos e fatores limitantes gerais e específicos

Os critérios diagnósticos foram definidos com base nas metodologias adaptadas por Lepsch et al. (2015) e por Taveira et al. (2019). A partir delas, foi elaborado um método adaptado às características das aldeias de Siani e Bandiagara II.

De forma mais específica, o Método 1 considera as tabelas de julgamento tradicionais (FRANÇA 1963; KLINGEBIEL, MONTGOMERY, 1961; LEPSCH et al., 2015) e o Método 2 as tabelas de julgamento nos níveis de manejo baixo, médio e alto, adaptadas por Taveira et al. (2019). Já o Método 3, foi adaptado às condições específicas do Mali e apresenta algumas mudanças em relação à classe de capacidade de uso de alguns fatores, além da adição dos fatores limitantes específicos: velocidade do vento, índice de encrostamento e déficit hídrico, que não estavam presentes nos outros dois métodos.

As Tabelas 04 e 05 mostram os fatores limitantes gerais e específicos, respectivamente, com seus graus de limitação, as classes em que eles se enquadram e a simbologia utilizada. Os fatores limitantes gerais adotados (textura do solo, profundidade efetiva, permeabilidade do solo a água, drenagem, declividade e tipo e ocorrência de erosão hídrica) são descritos a seguir.

A textura (t) dos horizontes na camada superficial e subsuperficial, tem grande influência no comportamento físico-hídrico e químico do solo, e por isso, sua avaliação é de grande importância para o uso e manejo dos solos utilizados para a agricultura. É expressa pela proporção dos componentes granulométricos da fase mineral do solo, areia, silte e argila. No Brasil, a classificação de tamanho de partículas utilizada segue o seguinte padrão (TEIXEIRA, 2017): argila (< 0,002 mm), silte (0,002 - 0,05 mm), areia fina (0,05 - 0,2 mm), areia grossa (0,2 - 2 mm). As frações mais grosseiras do que a fração areia são: cascalho (2 - 20 mm), calhau (20 - 200 mm), e matacão (> 200 mm). A classificação proposta por Lepsch et al. (2015) é a seguinte: muito argilosa (argila > 60%); argilosa (argila entre 35 e 60%); média (argila < 35%,

areia > 15%, silte < 50%); siltosa (argila < 35%, areia < 15%, silte > 50%); arenosa (argila < 15%, areia > 70%); adota-se a simbologia “ro” para indicar material rochoso a menos de 100 cm e “or” para indicar materiais orgânicos ou turfosos.

A profundidade efetiva do solo (pr) refere-se à espessura máxima do solo na qual as raízes podem se desenvolver sem impedimentos físicos para penetração livre, facilitando a fixação da planta e a absorção de água e nutrientes, sendo classificadas em muito raso (< 0,25 m); raso (0,25 - 0,50 m); moderadamente profundo (0,50 - 1,0 m); profundo (1,0 - 2,0 m); e muito profundo (> 2,0 m).

A permeabilidade do solo à água na camada superficial e subsuperficial (pm) é a facilidade com que água e o ar penetram ou atravessam uma camada ou horizonte do solo, por estarem diretamente relacionados ao sistema de poros (porosidade). Em termos quantitativos, a permeabilidade é a velocidade do fluxo de água por meio de uma seção transversal de solo. Essa propriedade tem grande importância no condicionamento dos movimentos de água e do ar e, conseqüentemente, no desenvolvimento das plantas. A permeabilidade está também muito ligada à estrutura do solo, que, por sua vez, fornece detalhes do grau de agregação, coesão, adensamento ou compactação das partículas. Segundo Lepsch et al. (2015), a permeabilidade do solo à água pode ser classificada em: rápida (> 150 mm h⁻¹); moderada (5 – 150 mm h⁻¹) e lenta (< 5 mm h⁻¹).

A drenagem (dr) foi incluída como um fator limitante nos métodos 2 e 3. Para a determinação dos graus de limitação, foi feita uma associação com as classes de permeabilidade, conforme Santos et al. (2015). Dessa forma, a drenagem foi classificada como: acentuada (permeabilidade rápida), boa (permeabilidade moderada), moderada (permeabilidade moderada), imperfeita (permeabilidade lenta), lenta (permeabilidade lenta), muito lenta (permeabilidade lenta).

A declividade do solo (r), é o gradiente da inclinação da superfície do solo a partir da horizontal e possibilita empregar o manejo conservacionista mais adequado para o relevo. As classes de declividade são associadas aos relevos, sendo < 2% referente ao relevo plano; 2 – 5% ao relevo suave-ondulado; 5 – 10% ao relevo moderadamente ondulado; 10 – 15% ao relevo ondulado; 15 – 45% ao relevo fortemente ondulado; 45 - 70% ao relevo montanhoso e > 70% ao relevo escarpado.

A erosão (e), é o desgaste da superfície do solo pela por agentes erosivos e resulta do desprendimento e movimentação de componentes do corpo do solo, num processo natural – erosão geológica, ou mediante intervenção humana – erosão acelerada. Para este estudo, foram consideradas as erosões do tipo hídrica e eólica, que são o desgaste do solo pela ação da água e

do vento, respectivamente, e que são aceleradas quando esses agentes encontram o solo desprotegido de vegetação (LEPSCH et al., 2015). Para o reconhecimento das formas erosivas causadas pela chuva, neste estudo, foram consideradas as erosões laminar e em sulcos.

A erosão laminar ou superficial, caracteriza-se por desgastar uniformemente a superfície do solo em finas camadas, sendo provocada por fluxo hídrico não concentrado, no qual o solo não apresenta incisões significativas nem canais perceptíveis. Pode ser classificada em: ligeira (quando já aparente, mas com menos de 25% do horizonte A removido ou quando não for possível identificar a profundidade normal do horizonte A intacto, com mais de 15 cm do solo remanescente no horizonte A); moderada (com 25 a 75 % do horizonte A removido ou quando não for possível identificar a profundidade normal do horizonte A de um solo intacto, com 5 a 15 cm do solo remanescente no horizonte A); severa (com mais de 75 % do horizonte A removido e, possivelmente, com o topo do horizonte B já aflorando ou quando não for possível identificar a profundidade natural do horizonte A intacto, com menos de 5 cm do solo remanescente do horizonte A); muito severa (com todo o solo do horizonte A já removido e com o horizonte B bastante erodido, já havendo, em alguns casos, sido removido em proporções entre 25 e 75% da profundidade original); extremamente severa (com o horizonte B, em sua maior parte, já removido, e com o topo do horizonte C aflorando, encontrando-se o solo praticamente decapitado e degradado devido ao manejo incorreto).

A erosão em sulcos ou canais caracteriza-se pela presença de sulcos sinuosos que se localizam ao longo dos declives em consequência dos fluxos de água escorrendo na superfície do solo (enxurrada), por ocasião das chuvas intensas ou de chuvas cuja intensidade supera a capacidade de infiltração de água no solo (deflúvio).

A erosão em sulcos e as voçorocas são, normalmente, mais facilmente reconhecíveis em seus diferentes graus de intensidade, e podem ser claramente identificadas em campo através da observação da profundidade e frequência das escavações deixadas no solo. Quanto à frequência, são classificadas em: ocasionais (área com sulcos distanciados mais de 30 m de distância entre si, mas ocupando área inferior a 25%); frequentes (área com sulcos a menos de 30 m de distância entre si, mas ocupando área entre 25 a 75%); muito frequentes (área com sulcos a menos de 30 m de distância entre si, mas ocupando área superior a 75%).

Em relação à profundidade, os sulcos são classificados em: superficiais (< 0,20 m, podem ser cruzados por máquinas agrícolas e se desfazem com o preparo do solo); rasos (0,20 a 0,50 m, podem ser cruzados por máquinas agrícolas, mas não se desfazem com o preparo do solo); profundos (0,50 a 1,0 m, que não podem ser cruzados por máquinas agrícolas e que ainda não atingiram o horizonte C); muito profundos (1,0 a 2,0 m, não podem ser cruzados por

máquinas agrícolas e que já atingiram o horizonte C). As voçorocas são sulcos com profundidades superiores a 2,0 m.

Tabela 04 - Critérios de classificação dos fatores limitantes gerais e seus respectivos graus de limitação, classes e simbologia utilizados na classificação da capacidade de uso.

Fatores limitantes gerais	Graus de limitação	Simbologia	Método 1		Método 2		Método 3
			Geral	Baixo	Intermediário	Alto	Adaptação
Textura	não identificada	t0	I	I	I	I	I
	muito argilosa	t1	I	I	I	I	I
	argilosa	t2	I	I	I	I	I
	média	t3	II	II	II	II	II
	siltosa	t4	IV	III	VI	VI	III
	arenosa	t5	VI	IV	VI	VI	IV
	rocha ou camada de impedimento	ro	VII	VII	VII	VII	VII
	material orgânico ou turfoso	or	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
Profundidade efetiva	muito profundo	pr1	I	I	I	I	I
	profundo	pr2	II	II	II	II	I
	moderado	pr3	III	II	III	III	II
	raso	pr4	IV	III	IV	VI	III
	muito raso	pr5	VII	VII	VII	VIII	IV
Permeabilidade do solo à água	não identificada	pm0	I	-	-	-	-
	rápida/rápida	pm1	I	-	-	-	-
	rápida/moderada	pm2	II	-	-	-	-
	moderada/rápida	pm3	III	-	-	-	-
	moderada/moderada	pm4	III	-	-	-	-
	moderada/lenta	pm5	IV	-	-	-	-
	lenta/rápida	pm6	V	-	-	-	-
	lenta/moderada	pm7	VII	-	-	-	-
	lenta/lenta	pm8	VIII	-	-	-	-
Drenagem	acentuada	dr1	-	III	III	III	III
	boa	dr2	-	I	I	I	I
	moderada	dr3	-	II	II	II	II
	imperfeita	dr4	-	III	III	IV	III
	lenta	dr5	-	V	V	V	V
	muito lenta	dr6	-	VIII	VIII	VIII	VIII
Declividade	plano	r1	I	I	I	I	I
	suavemente ondulado	r2	II	II	II	III	II
	moderadamente ondulado	r3	III	II	III	III	II
	ondulado	r4	IV	III	III	IV	III
	fortemente ondulado	r5	VI	IV	IV	VI	IV
	montanhoso	r6	VII	VII	VII	VIII	VII
	escarpado	r7	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII

Erosão laminar	não aparente	0	I	I	I	I	I
	ligeira	e1	II	I	I	I	I
	moderada	e2	III	III	II	II	III
	severa	e3	VI	IV	III	III	IV
	muito severa	e4	VI	VI	IV	IV	VI
	extremamente severa	e5	VII	VII	VII	VII	VII
	deslocamento de massa	e6	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
Erosão sulcos	superficial e ocasional	e7	II	II	II	II	II
	superficial e frequente	e8	III	III	II	II	III
	superficial e muito frequente	e9	IV	IV	III	III	IV
	raso e ocasional	e⑦	III	III	III	II	III
	raso e frequente	e⑧	IV	IV	III	II	IV
	raso e muito frequente	e⑨	VI	IV	III	II	IV
	profundo e ocasional	e7p	IV	IV	IV	III	IV
	profundo e frequente	e8p	VI	VI	IV	IV	VI
	profundo e muito frequente	e9p	VII	VII	VII	VII	VII
	muito profundo e ocasional	7v	VI	VII	VII	VII	VII
	muito profundo e frequente	8v	VII	VII	VII	VII	VII
	muito profundo e muito frequente	9v	VIII	VII	VII	VII	VII
	voçoroca	vo	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII

Para um critério ser definido como um fator limitante específico, ele deve ocorrer em classes de solos, climas ou regiões específicas, de forma que não possa ser modificado ou corrigido facilmente. Neste trabalho, para a classificação da capacidade de uso, foram considerados os seguintes fatores limitantes específicos: erosão eólica, CTC, saturação por bases (V), teor de matéria orgânica (MOS), velocidade do vento, pedregosidade, rochosidade, risco e frequência de inundação, hidromorfismo, gradiente textural, regime hídrico, déficit hídrico e grau de encrostamento. Além destes, a Tabela 05 inclui também outros critérios (saturação por alumínio, teor de sódio, teor de carbonatos, tiomorfismo, caráter vértico e geada ou vento frio) que poderão ser utilizados como referência em trabalhos futuros para outras áreas do Mali ou da África Ocidental. Os atributos de fertilidade do solo, (CTC, V e MOS), foram classificados quanto as classes de limitações conforme mostrado na Tabela 03.

A erosão eólica (ee), é causada pelo vento ao transportar materiais que se desgastam das rochas e solos e é mais frequente em áreas semiáridas, áridas e desérticas. Distinguem-se duas classes ou tipos de erosão eólica (LEPSCH et al., 2015): litorânea (L), quando ocorre junto à orla marítima, com deslocamento de material arenoso em forma de dunas; e continental (C),

quando ocorre no interior do continente, havendo movimento de partículas de solo sem que haja reposição do material deslocado. Usualmente, distinguem-se três graus de erosão eólica, segundo Lepsch et al. (2015), sendo expressos na forma de um índice numérico aposto a letra indicando o tipo, a saber: Ligeira, Moderada, Intensa.

O fator pedregosidade (pd) refere-se à proporção relativa de cascalhos (2-20 mm de diâmetro), calhaus (20-200 mm de diâmetro) e matacões (acima de 200 mm de diâmetro) sobre a superfície e/ou na massa do solo, sendo utilizadas os seguintes graus de limitação: não-pedregosa (quando não há ocorrência de calhaus e/ou matacões na superfície e/ou na massa do solo, ou a ocorrência é insignificante e não interfere no uso do solo, ou é facilmente removível); ligeiramente pedregosa (quando a ocorrência de cascalhos corresponde a menos de 15% da massa do solo ou quando há calhaus e/ou matacões espacialmente distribuídos, ocupando menos de 0,1% da superfície do terreno e distanciando-se por 10 a 30 m, sendo perfeitamente viáveis os cultivos entre as pedras); moderadamente pedregosa (quando há ocorrência de calhaus e/ou matacões ocupando 0,1 a 3% da massa do solo e/ou da superfície do terreno e distanciando-se por 1,5 a 10 m tornando impraticável o cultivo mecanizado, podendo, entretanto, os solos serem utilizados no cultivo de forrageiras e pastagens naturais melhoradas, se outras características forem favoráveis); pedregosa (quando há ocorrência de calhaus e/ou matacões ocupando 3 a 15% da massa do solo e/ou da superfície do terreno e distanciando-se por 0,75 a 1,5m, tornando possível apenas o uso de máquinas leves e implementos agrícolas manuais; solos nessa classe podem ser utilizados como áreas de preservação da flora e da fauna); muito pedregosa (quando há ocorrência de calhaus e/ou matacões ocupando de 15 a 50% da massa do solo e/ou da superfície do terreno e distanciando-se por menos de 0,75m, tornando inviável o uso de qualquer tipo de maquinário ou implemento agrícola manual; solos nessa classe de pedregosidade são viáveis somente para vegetação nativa); extremamente pedregosa (quando os calhaus e matacões ocupam de 50 a 90% da superfície do terreno e/ou da massa do solo; nesse caso, passam a ser considerados tipo de terreno).

A rochosidade (rd) refere-se à proporção relativa de exposições de rochas, como afloramentos, camadas delgadas de solos sobre rochas ou ocorrência significativa de matacões com mais de 100 cm de diâmetro. As classes de rochosidade são as seguintes: não-rochosa (não há ocorrência de afloramentos do substrato rochoso nem de matacões, ou sua ocorrência é muito pequena, ocupando menos de 2% da superfície); ligeiramente rochosa (os afloramentos são suficientes para interferir na aração, porém é perfeitamente viável o cultivo entre as rochas; os afloramentos e/ou matacões se distanciam de 30 a 100m, ocupando de 2 a 10% da superfície do terreno); moderadamente rochosa (os afloramentos são suficientes para tornar impraticáveis

os cultivos entre rochas e/ou matacões, sendo possível o uso do solo para o cultivo de forrageiras ou pastagem natural melhorada; os afloramentos e/ou matacões se distanciam de 10 a 30m, ocupando de 10 a 25% da superfície do terreno); rochosa (os afloramentos são suficientes para possibilitar apenas o uso de máquinas leves; solos dessa classe podem ser utilizados como áreas de preservação da flora e da fauna; os afloramentos rochosos, matacões e/ou manchas de camadas delgadas de solos sobre rochas se distanciam de 3 a 10m e cobrem de 25 a 50% da superfície do terreno); muito rochosa (os afloramentos rochosos, matacões e/ou manchas de camadas delgadas de solos sobre rochas se distanciam menos de 3 m, cobrindo 50 a 90% da superfície, tornando completamente inviável a mecanização; solos dessa classe são viáveis apenas para florestas nativas); extremamente rochosa (afloramentos de rochas e/ou matacões ocupam mais de 90% da superfície do terreno, sendo, considerados tipo de terreno).

O gradiente textural (ab) está relacionado à diferença textural nos teores de argila entre os horizontes A e B, podendo ser classificado em ausente, quando a relação de argila entre os dois horizontes é $< 1,4$ (enquadramento relativo à textura), e presente, quando a relação é $\geq 1,4$ (enquadramento na classe imediatamente mais restritiva do que a definida pela textura).

O risco de inundação (i) é classificado quanto à duração e a frequência com que ocorre, sendo: não identificado (não são identificadas inundações na área, ou elas ocorrem com frequência maior e tem duração menor do que o estimado nas classes); ocasionais e curtas (ocorrem em um intervalo maior que três anos e tem duração de menos de três dias); ocasionais e médias (ocorrem em um intervalo maior que três anos e tem duração entre três dias a um mês); ocasionais e longas (ocorrem em um intervalo maior que três anos e tem duração de mais de um mês); frequentes e curtas (ocorrem anualmente e tem duração de menos de três dias); frequentes e médias (ocorrem anualmente e tem duração entre três dias a um mês); frequentes e longas (ocorrem anualmente e tem duração de mais de um mês); muito frequentes e curtas (ocorrem mais de uma vez ao ano e tem duração de menos de três dias); muito frequentes e médias (ocorrem mais de uma vez ao ano e tem duração entre três dias a um mês); muito frequentes e longas (ocorrem mais de uma vez ao ano e tem duração de mais de um mês).

O hidromorfismo (hi) é um processo que indica deficiência de oxigênio no solo de acordo com o grau de gleização e pode ser classificado em: presente, grau não identificado (hi0); hi1: baixa gleização (horizonte glei abaixo de 1,0m; saturação do solo por período curto de tempo); hi2: moderada gleização (horizonte glei entre 0,5 e 1,0m; saturação do solo por período médio de tempo); hi3: forte gleização (horizonte glei entre 0,25 e 0,5m; saturação do solo por período longo; afloramento do lençol freático por período médio); hi4: muito forte

gleização (horizonte glei na superfície; saturação do solo na maior parte do ano; afloramento do lençol freático por período longo; acúmulo de material orgânico à superfície).

O regime hídrico (rh) pode ser classificado em: áquico (perfil úmido o ano inteiro, com vegetação de campos brejosos, campos higrófilos); perúdico (menos de 60 dias secos ano⁻¹ e floresta tropical perenifólia); údico (entre 60 a 90 dias secos ano⁻¹, floresta tropical subperenifólia, savana); ústico (entre 90 a 150 dias secos ano⁻¹, floresta tropical subcaducifólia, savana); perústico (entre 150 a 210 dias secos ano⁻¹, floresta tropical caducifólia, campo limpo, campo rupestre); arídico (mais de 210 dias secos ano⁻¹, vegetação hipoxerófila, vegetação hiperxerófila).

A velocidade do vento (ve) tem uma série de implicações em relação a erosão eólica, ao microclima agrícola e ao tombamento de plantas cultivadas. Devido aos dados climáticos gerados na estação meteorológica e a observações de campo, ela foi adicionada como um fator limitante relacionado ao clima. Para sua classificação, foi elaborada uma escala baseada na escala de Beaufort (WMO, 2008). As classes são distribuídas da seguinte forma: muito baixa (ve1 > 5 km h⁻¹), baixa (ve2: entre 5 a 25 km h⁻¹), moderada (ve3: entre 25 a 50 km h⁻¹), alta (ve4: entre 50 a 75 km h⁻¹) e muito alta (ve5 > 75 km h⁻¹).

O grau de encrostamento (s) é determinado através da relação entre matéria orgânica e os tores de argila e silte, sendo classificado, segundo Pieri (1989), em: ausente (s0) para os valores de S > 9; baixo (s1) para o valor de S compreendido entre 7 e 9; alto (s2) para o valor de S compreendido entre 5 e 7 e muito alto (s3) para valores de S < 5.

O déficit hídrico (dh) se refere à precipitação anual e, de acordo com Ramalho-Filho e Beek (1995), pode ser classificado em nulo (>1200 mm ano⁻¹); ligeiro (1000-1200 mm ano⁻¹); moderado (700-1000 mm ano⁻¹); forte (500-700 mm ano⁻¹) e muito forte (<500 mm ano⁻¹).

Tabela 05 - Critérios de classificação dos fatores limitantes específicos e respectivos graus de limitação, classes e simbologia utilizados na classificação da capacidade de uso.

Fatores limitantes específicos	Graus de limitação	Simbologia	Método 1			Método 2		Método 3
			Geral	Baixo	Intermediário	Alto	Adaptado	
Erosão eólica	ligeira	ee1	II	-	-	-	II	
	moderada	ee2	III	-	-	-	III	
	intensa	ee3	IV	-	-	-	IV	
CTC	alta	di1	I	I	I	I	I	
	média	di2	II	III	II	II	III	
	baixa	di3	IV	VII	VI	VI	VI	
Saturação por	alta	v1	I	I	I	I	I	

bases (V)	média	v2	II	II	I	I	II
	baixa	v3	III	III	II	II	III
	muito baixa	v4	IV	VII	IV	III	VII
Saturação por alumínio (m)	baixa	m1	I	I	I	I	I
	média	m2	II	III	II	II	III
	alta	m3	III	IV	III	III	IV
	caráter álico	al	VI	VII	VI	IV	VII
	caráter alumínico	alu	VIII	VII	VIII	VIII	VII
	Teor de sódio	ausente	na0	I	I	I	I
baixa		na1	III	I	I	I	I
média		na2	IV	IV	IV	IV	IV
alta		na3	VI	VII	VII	VII	VII
Teor de carbonatos	baixa	ca1	I	I	I	I	I
	média	ca2	III	III	III	II	III
	alta	ca3	VI	VI	VI	IV	VI
Teor de matéria orgânica no solo (MOS)	muito bom	mo1	I	-	-	-	I
	bom	mo2	II	-	-	-	II
	médio	mo3	III	-	-	-	III
	baixo	mo4	IV	-	-	-	IV
	muito baixo	mo5	VI	-	-	-	IV
Velocidade do vento	muito baixa	ve1	-	-	-	-	I
	baixa	ve2	-	-	-	-	II
	moderada	ve3	-	-	-	-	IV
	alta	ve4	-	-	-	-	IV
	muito alta	ve5	-	-	-	-	VI
Pedregosidade	não pedregoso	pd0	I	I	I	I	I
	ligeiramente pedregoso	pd1	III	II	III	III	II
	moderadamente pedregoso	pd2	IV	IV	VI	VI	IV
	pedregoso	pd3	VI	VI	VII	VII	VI
	muito pedregoso	pd4	VII	VII	VIII	VIII	VII
	extremamente pedregoso	pd5	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
Rochosidade	não rochoso	rd6	I	I	I	I	I
	ligeiramente rochoso	rd7	III	III	IV	VI	II
	moderadamente rochoso	rd8	IV	IV	VI	VII	IV
	rochoso	rd9	VII	VI	VI	VI	VI
	muito rochoso	rd10	VII	VII	VII	VII	VII
	extremamente rochoso	rd11	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
Risco de inundação	não identificado	i0	I	I	I	I	I
	ocasionais e curtas	i1	II	II	III	IV	II
	ocasionais e médias	i2	III	III	IV	V	III
	ocasionais e longas	i3	IV	IV	IV	IV	IV
	frequentes e curtas	i4	V	IV	IV	V	III
	frequentes e médias	i5	V	IV	V	V	IV
	frequentes e longas	i6	V	V	V	V	V

	muito frequentes e curtas	i7	VII	VII	VII	VIII	VII
	muito frequentes e médias	i8	VIII	VII	VII	VIII	VII
	muito frequentes e longas	i9	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
Hidromorfismo	não identificado	hi0	I	I	I	I	I
	baixa gleização	hi1	III	III	III	IV	III
	moderada gleização	hi2	IV	IV	IV	V	IV
	forte gleização	hi3	V	V	V	VIII	V
	muito forte	hi4	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
Gradiente textural	ausente	ab0	I	-	-	-	I
	presente	ab1	III	-	-	-	III
Regime hídrico	áquico	aqu	ver a classificação de hidromorfismo				
	perúdico	peru	I	I	I	I	I
	údico	udi	I	II	I	I	II
	ústico	ust	II	III	II	II	III
	perústico	perst	IV	IV	IV	III	IV
	arídico	ari	VII	VII	VII	VI	VII
Déficit hídrico	ausente	dh0	-	-	-	-	I
	ligeiro	dh1	-	-	-	-	I
	moderado	dh2	-	-	-	-	III
	forte	dh3	-	-	-	-	IV
	muito forte	dh4	-	-	-	-	VII
Grau de encrostamento	ausente	s0	-	-	-	-	I
	baixo	s1	-	-	-	-	III
	alto	s2	-	-	-	-	IV
	muito alto	s3	-	-	-	-	IV
Tiomorfismo	ausente	ti0	I	I	I	I	I
	presente	ti1	VIII	VIII	VIII	VIII	VIII
Caráter vértico	ausente	v0	I	I	I	I	I
	presente	v1	III	III	III	V	III
Geada ou vento frio	ocasional	g1	II	II	II	II	II
	frequente	g2	III	IV	III	III	IV
	muito frequente	g3	VIII	VI	VIII	VIII	VI

3.5 ADEQUABILIDADE DE USO DO SOLO

O mapa de adequabilidade de uso do solo foi elaborado a partir da sobreposição e cruzamento das classes de uso e cobertura atual e das classes de capacidade de uso determinadas, utilizando os critérios da Figura 02. Para fins de comparação, a adequabilidade foi feita para o Método 1, o Método 2 (baixo nível de manejo) e o Método 3, adaptado para as aldeias estudadas.

O potencial de uso das UM foi estabelecido utilizando os seguintes critérios:

- > potencial de uso: a área está "subutilizada"; o uso atual está abaixo da classe de capacidade máxima que ele pode se enquadrar;
- < potencial de uso: a área está "sobreutilizada"; o uso atual está acima da classe de capacidade máxima que ele pode se enquadrar;
- Uso adequado: o uso atual está compatível com a classe de capacidade máxima que ele pode se enquadrar.

4 RESULTADOS

4.1 ORTOMOSAICOS, DECLIVIDADE E EROSÃO

Os ortomosaicos gerados a partir das imagens aéreas adquiridas por VANT, estão representados na Figura 08. A Figura 09 mostra o mapa de declividade e a Tabela 06 traz a distribuição das classes de declividade das aldeias. É possível observar que o relevo de ambas – mais de 65% da área de cada uma – é majoritariamente plano e suave ondulado. No entanto, em Siani, algumas áreas localizadas principalmente na parte sul apresentaram relevo mais movimentado, com declividade maior que 15%, devido à presença de afloramentos rochosos e vertentes com erosão em sulcos mais acentuada.

Figura 08 - Ortomosaicos das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B), gerados a partir das imagens aéreas obtidas por VANT.

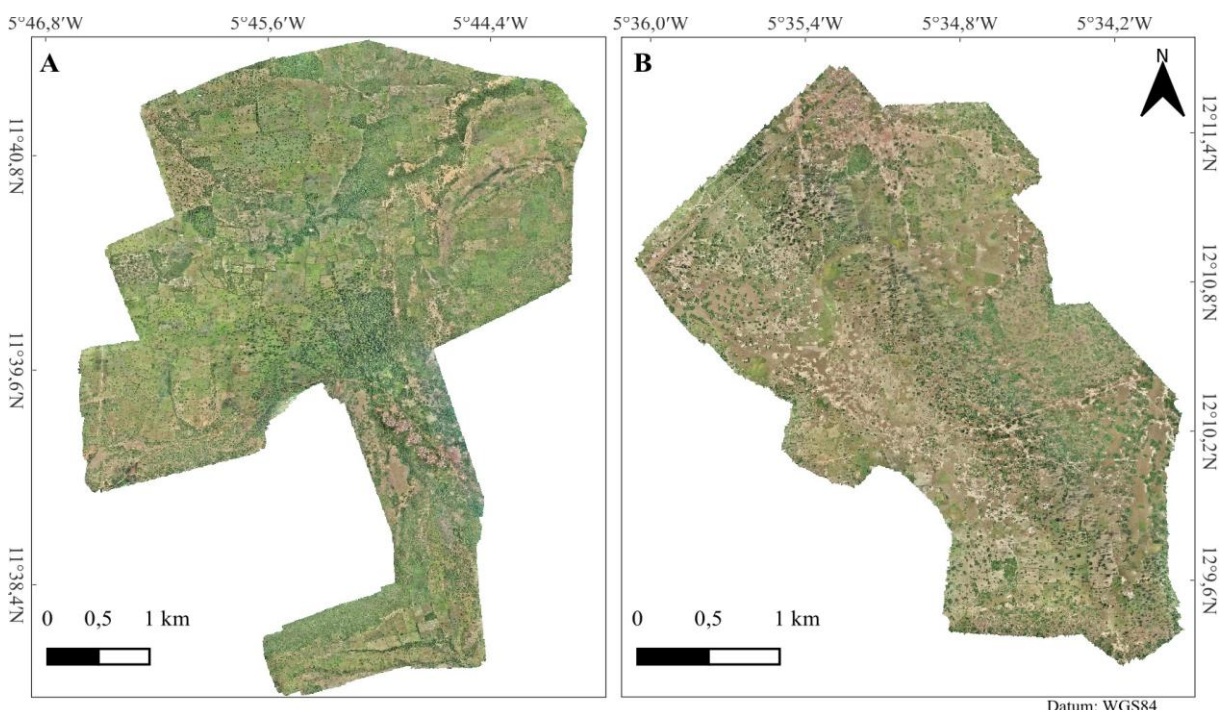


Figura 09 - Mapa de declividade das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).

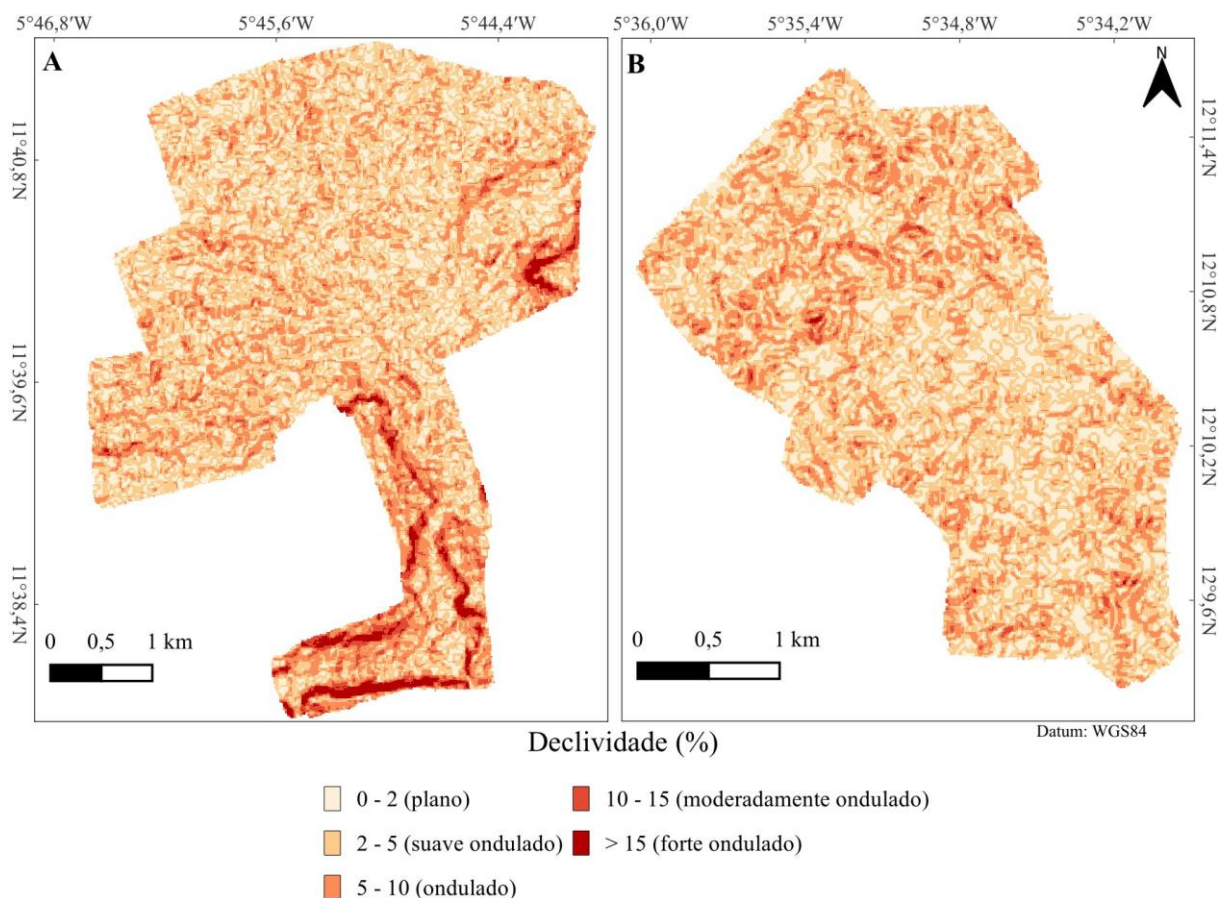


Tabela 06 - Distribuição da declividade nas aldeias Siani e Bandiagara II.

Classes de relevo	Declividade (%)	Siani		Bandiagara II	
		Área (ha)	Porcentagem da área (%)	Área (ha)	Porcentagem da área (%)
Plano	0 - 2	420,62	22,56	235,32	26,82
Suave ondulado	2 - 5	840,91	45,10	449,45	47,63
Ondulado	5 - 10	485,27	26,03	226,19	23,97
Moderadamente ondulado	10 - 15	78,21	4,19	14,31	1,52
Forte ondulado	> 15	39,51	2,12	0,55	0,06

As Figuras 10 e 11 mostram os índices de vegetação e os tipos de erosão encontrados nas áreas de solo exposto. Na Tabela 07 encontra-se a área ocupada por cada tipo de erosão nas aldeias. Observa-se que a aldeia Bandiagara II possui 49,80% de sua área ocupada por superfícies com erosão, sendo o tipo laminar o mais expressivo (35,33%). Já em Siani, a erosão ocupa, 27,80% da área total e o tipo laminar também é mais frequente (19,05%). Por sua vez, a erosão em sulcos também é mais acentuada em Bandiagara II.

Figura 10 - Índice de vegetação MGRVI das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).

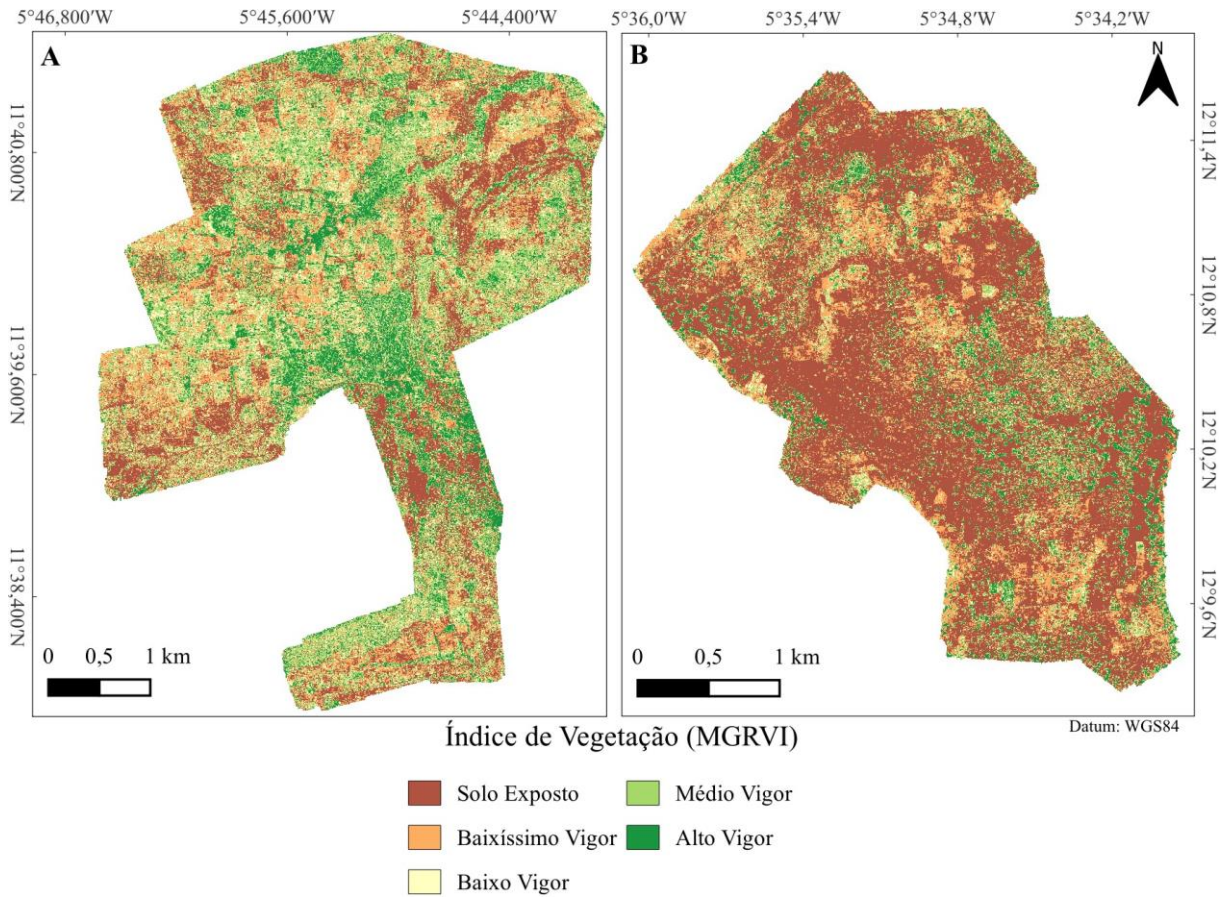


Figura 11 - Localização e tipos de erosão das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).

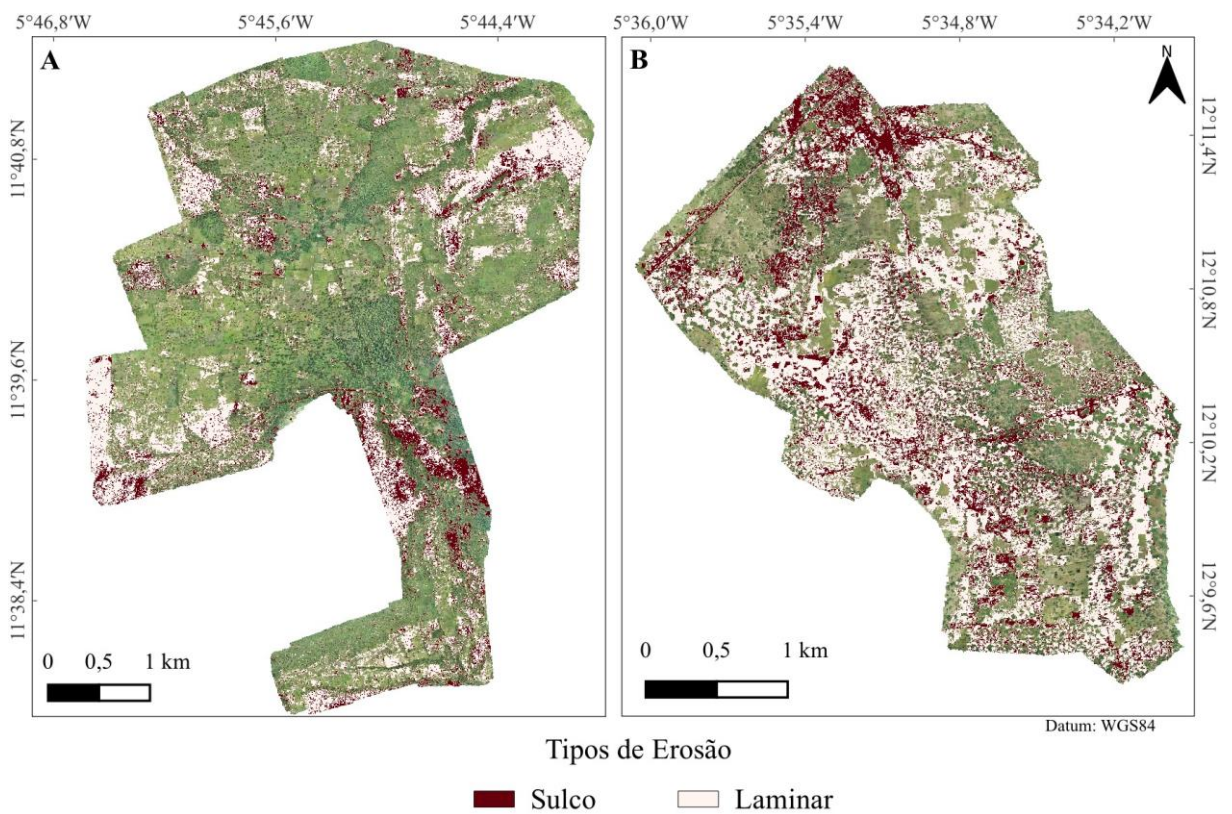


Tabela 07 - Distribuição dos tipos de erosão hídrica nas aldeias Siani e Bandiagara II.

Erosão	Siani		Bandiagara II	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Laminar	355,26	19,05	333,35	35,33
Sulcos	163,18	8,75	136,58	14,47
Total	518,44	27,80	469,92	49,80

4.2 ATRIBUTOS FÍSICOS E DE FERTILIDADE DO SOLO

As Tabelas 08 e 09 mostram, respectivamente, os resultados das análises químicas e físicas dos solos das aldeias Siani e Bandiagara II. Cada amostra foi relacionada com uma unidade de mapeamento (UM) correspondente, de acordo com o local de coleta. Os resultados completos das análises dos atributos de fertilidade de ambas as aldeias se encontram no Apêndice C.

Os solos de Siani apresentaram maior fertilidade, com maiores valores de K, P, Ca, Mg, SB e V. Isto pode estar associado à uma maior fertilidade natural dos solos, mas também a um maior aporte de insumos nos solos agrícolas de Siani. Os teores de Ca e Mg são consideravelmente maiores nos solos onde os agricultores declararam realizar aplicação de calcário, com valores alcançando 9,35 e 3,7 cmolc dm⁻³, respectivamente.

Em geral, os solos se caracterizam por serem ácidos, com pH variando de 6,6 a 4,6 e valores médios em torno de 5,5. No entanto, os solos de Bandiagara II são levemente mais ácidos, o que é refletido nos maiores teores de Al, H+Al e de m, e apresentam maior CTC potencial (T) (Tabela 08), o que pode ser explicado pelos teores de argila mais elevados (Tabela 09).

O teor de matéria orgânica (Tabela 08), apesar de baixo em ambas as aldeias, foi maior em Siani e pode estar relacionado à vegetação natural, mais densa e com maior cobertura do solo, e com o manejo, devido à adição de compostos orgânicos. Essas características podem explicar o porquê de haver maiores teores de MOS, mesmo os teores de argila sendo menores. Siani se caracteriza por apresentar uma vegetação natural de maior biomassa, que pode ter contribuído com um maior conteúdo de matéria orgânica. No entanto, também é possível observar que a aplicação de adubos orgânicos nos sistemas agrícolas desta aldeia é um fator importante, contribuindo com o valor máximo de 26,4 g kg⁻¹. Desta maneira, a aplicação de compostos orgânicos influencia diretamente nos maiores valores de MOS em Siani mesmo com

os solos apresentando teores de argila consideravelmente mais baixos do que em Bandiagara II (média de 170 g kg⁻¹ contra 310 g kg⁻¹, respectivamente).

Tabela 08 - Resultados das análises químicas de solo das aldeias Siani e Bandiagara II.

UM	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	t	T	V	m	MOS
		---mg dm ⁻³ ---	----- cmolc dm ⁻³ -----						-----%-----		g kg ⁻¹			
Siani														
FFIf2	5,8	117,3	12,56	0,1	3,42	1,1	0,1	1,9	5,31	5,41	7,21	73,7	1,9	13,1
	6,5	153,48	4,24	29	9,35	3,7	0,2	2,7	13,44	13,64	16,14	83,29	1,47	16,6
	5,8	78,86	5,03	21	2,19	0,63	0	1,9	3,02	3,02	4,92	61,43	0	6,9
	6,3	63,01	3,36	21	1,93	0,47	0	1,8	2,56	2,56	4,36	58,75	0	6,3
	6,3	112,31	3,54	21	1,92	0,53	0	2,1	2,74	2,74	4,84	56,57	0	6,6
FFIf3	6,2	159,62	8,19	23	3,38	1,1	0,1	1,2	4,89	4,99	6,09	80,28	2	10,9
	5,9	162,95	7,31	25	6,41	1,92	0,1	2,5	8,75	8,85	11,25	77,76	1,13	26,4
FFIf4	5,7	92,09	4,52	23	4,11	1,22	0,1	2,7	5,57	5,67	8,27	67,31	1,76	7,9
	5,3	102,02	3,41	25	3,24	1,28	0,1	2,7	4,78	4,88	7,48	63,92	2,05	8,3
FTe22	5,3	101,85	3,55	23	2,8	1,02	0,2	2,3	4,08	4,28	6,38	63,97	4,67	9,3
	6	144,35	3,82	26	6,8	2,18	0,1	2,6	9,35	9,45	11,95	78,24	1,06	16,3
FTe23	6,3	269,79	9,48	0,12	5,44	1,48	0,1	1,8	7,34	7,44	9,14	80,3	1,4	13,6
	5,3	118,84	2,6	23	2,21	0,91	0	2,7	3,42	3,42	6,12	55,96	0	8,0
	5,6	97,86	3,46	21	1,64	0,44	0	1,6	2,33	2,33	3,93	59,31	0	5,3
FTe28	5,3	123,86	1,4	22	1,92	0,74	0	3	2,98	2,98	5,98	49,79	0	7,6
CXve35	5,3	136,25	8,02	24	2,65	1,33	0,1	2,9	4,33	4,43	7,23	59,88	2,26	9,4
CXve36	6,6	265,88	10,82	0,12	5,11	1,86	0,1	1,8	7,77	7,78	9,57	81,2	1,3	10,1
CXve41	6	106,07	12,79	22	2,17	0,57	0	1,3	3,01	3,01	4,31	69,88	0	7,0
	6,3	154,48	8,96	24	3,67	1,21	0,1	1,4	5,28	5,38	6,68	78,98	1,86	10,8
PVAd45	5,4	67,96	1,66	22	1,7	0,66	0,1	3,8	2,53	2,63	6,33	40,04	3,8	9,9
PVAd46	5,5	113,39	36,08	0,1	3	0,74	0,1	2,8	4,13	4,23	6,93	59,6	2,4	11,5
	5	110,47	4,79	23	2,1	0,95	0	3,6	3,33	3,33	6,93	48,1	0	6,8
	5,5	133,27	3,08	22	1,81	0,65	0	2,2	2,8	2,8	5	56,03	0	7,6
	5,4	83,85	1,83	22	1,45	0,67	0	2,3	2,33	2,33	4,63	50,43	0	6,5
Bandiagara II														
FFIf1	5,5	62,67	0,12	25	2,8	1,47	0,5	4,6	4,43	4,93	9,03	49,07	10,14	7,8
	5	44,12	0,15	24	2,04	0,66	0,5	4,9	2,81	3,31	7,71	36,49	15,11	6,7
FFIf4	5,4	72,99	0,26	24	1,83	0,7	0,2	3,2	2,72	2,92	5,92	45,9	6,85	6
	5,8	100,94	0,67	25	2,2	0,99	0,1	3,9	3,45	3,55	7,35	46,92	2,82	13,4
FFIf6	5,2	89,97	3,36	25	1,84	0,73	0,5	4,4	2,8	3,3	7,2	38,9	15,15	8,2
	4,9	71,1	0,95	25	1,96	0,85	0,4	4,6	2,99	3,39	7,59	39,42	11,8	9,8
FFIf8	5,2	50,83	1,75	0,11	2	1,09	0	3	3,33	3,33	6,33	52,6	0	9,9
	5	130,88	2,7	23	2,27	1,21	0,1	4,1	3,82	3,92	7,92	48,18	2,55	8,2
	4,7	55,28	0,93	23	1,81	1,02	0,8	5,6	2,97	3,77	8,57	34,68	21,22	6,6

	5,1	46,89	0,75	26	1,85	0,75	0,5	3,7	2,72	3,22	6,42	42,37	15,53	10,4
	5	66,98	1,55	28	1,51	0,39	0,6	4,8	2,07	2,67	6,87	30,16	22,47	8,2
	4,6	54,76	0,5	27	1,35	0,49	1,2	6	1,98	3,18	7,98	24,82	37,74	5,2
	4,7	68,91	0,84	25	1,48	0,73	1,5	7,8	2,39	3,89	10,19	23,42	38,56	9,3
	5,9	76,85	2,61	28	3,29	1,33	0,1	3,5	4,82	4,92	8,32	57,9	2,03	16,3
	5,2	78,02	1,46	23	1,97	1,01	0,2	4,2	3,18	3,38	7,38	43,09	5,92	20,2
	5	143,34	2,12	24	2,36	1,2	0,2	3,9	3,93	4,13	7,83	50,16	4,84	7,3
FFIf9	4,7	66,47	2,01	0,11	1,32	0,46	1	6,5	2,06	3,06	8,56	24,1	32,7	11,7
FFIf10	4,8	46,1	0,11	23	2,23	1,23	0,5	4,3	3,58	4,08	7,88	45,41	12,25	6,5
	5	49,67	0,55	24	1,44	0,66	1,7	7	2,23	3,93	9,23	24,13	43,26	9,8
FFIf12	4,8	47,57	0,28	24	1,83	0,62	0,9	6,4	2,57	3,47	8,97	28,67	25,94	8
FFIf14	5	83,22	0,37	23	1,86	0,95	0,3	4,1	3,02	3,32	7,12	42,46	9,04	7,6
FTd19	-	62,56	2,14	0,11	3,26	1,84	0,3	5,2	5,37	5,67	10,57	50,8	5,3	-
FTd20	5,2	102,58	4,75	24	2,74	1,27	0,3	4,1	4,27	4,57	8,37	51,05	6,56	11,5
	6	213,22	2,79	28	2,81	1,01	0,2	3,7	4,37	4,57	8,07	54,11	4,38	8,2

Em Siani, o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd) apresentou a menor profundidade efetiva (0,45 m), enquanto o Plintossolo Argilúvico Eutrófico (FTE) foi a classe de solo mais profunda (1,5 m). A textura do Argissolo, do Cambissolo (CXve) e dos Plintossolos foi classificada como média. Os solos de Siani, apresentaram também menor permeabilidade do solo a água do que os de Bandiagara II, mesmo possuindo maiores teores de areia (Tabela 09).

Já em Bandiagara II, o Plintossolo Argilúvico Distrófico (FTd) apresentou a maior profundidade efetiva (1,65 m), enquanto os Plintossolos Pétricos (FFIf) foram os mais rasos. De forma geral, a textura desses solos apresenta maiores teores de argila, em relação àqueles encontrados em Siani. O FTd foi classificado como argiloso, enquanto os FFIf como textura média. Em relação ao encrostamento (S), o resultado pode ser observado na Tabela 4-4, onde é possível observar que para todas as amostras $S < 5$, sendo que Bandiagara II apresentou os menores valores. O cálculo realizado para a classificação da permeabilidade do solo à água para ambas as aldeias se encontra no Apêndice D.

Tabela 09 - Resultados das análises físicas de solo das aldeias Siani e Bandiagara II.

Textura						
UM	Argila	Silte	Areia	Prof. Ef.	S	PSA
	----- g kg ⁻¹ -----			----- m -----		----- mm h ⁻¹ -----
Siani						
FFIf2	310	360	330	0,85	2,48	2,66 ± 1,57
	90	200	710	-	2,38	-

	100	180	720	-	2,25	-
	110	220	670	-	2,00	-
	120	230	650	-	3,11	-
	140	430	430	-	2,39	-
FFIf3	270	320	410	-	4,47	-
	190	510	300	-	1,13	-
FFIf4	190	550	260	-	1,12	-
	160	310	530	-	1,98	-
FTe22	270	430	300	1,5	2,33	4,44 ± 0,67
FTe23	210	290	500	-	1,6	-
	90	100	810	-	2,79	-
	100	290	610	-	3,36	-
FTe28	230	270	500	-	1,52	-
CXve35	270	230	500	1,4	1,88	6,50 ± 4,29
CXve36	130	210	660	-	2,97	-
CXve41	80	130	790	-	3,33	-
	100	190	710	-	3,72	-
PVAd45	150	210	640	0,45	2,75	3,59 ± 0,85
PVAd46	220	150	630	-	1,84	-
	160	250	590	-	1,85	-
	190	100	710	-	2,24	-
	120	290	590	-	2,80	-
Bandiagara II						
FFIf1	470	300	230	0,44	1,01	6,13 ± 2,89
FFIf4	330	370	300	-	0,96	-
	230	320	450	-	1,09	-
FFIf6	290	380	330	-	2,00	-
	290	370	340	-	1,24	-
FFIf8	270	360	370	-	1,56	-
	330	320	350	-	1,26	-
	320	320	360	-	1,03	-
	290	340	370	-	1,65	-
	260	390	350	-	1,26	-
	290	380	330	-	0,78	-
	390	320	290	-	1,31	-
	270	400	330	-	2,43	-
	290	290	420	-	3,48	-
	310	320	370	-	1,16	-
FFIf9	180	390	430	-	1,74	-
	260	380	360	0,23	1,83	2,46 ± 0,03
FFIf10	370	320	310	-	0,94	-
	410	280	310	-	1,42	-

FFlf12	280	390	330	-	1,19	-
FFlf14	310	350	340	-	1,15	-
FTd19	410	320	270	1,65	1,51	12,71 ± 7,45
FTd20	370	330	300	-	1,17	-
	330	380	290	-	1,62	-

*UM = unidade de mapeamento; Prof. Ef. = profundidade efetiva; S = encrostamento; PSA = permeabilidade do solo à água.

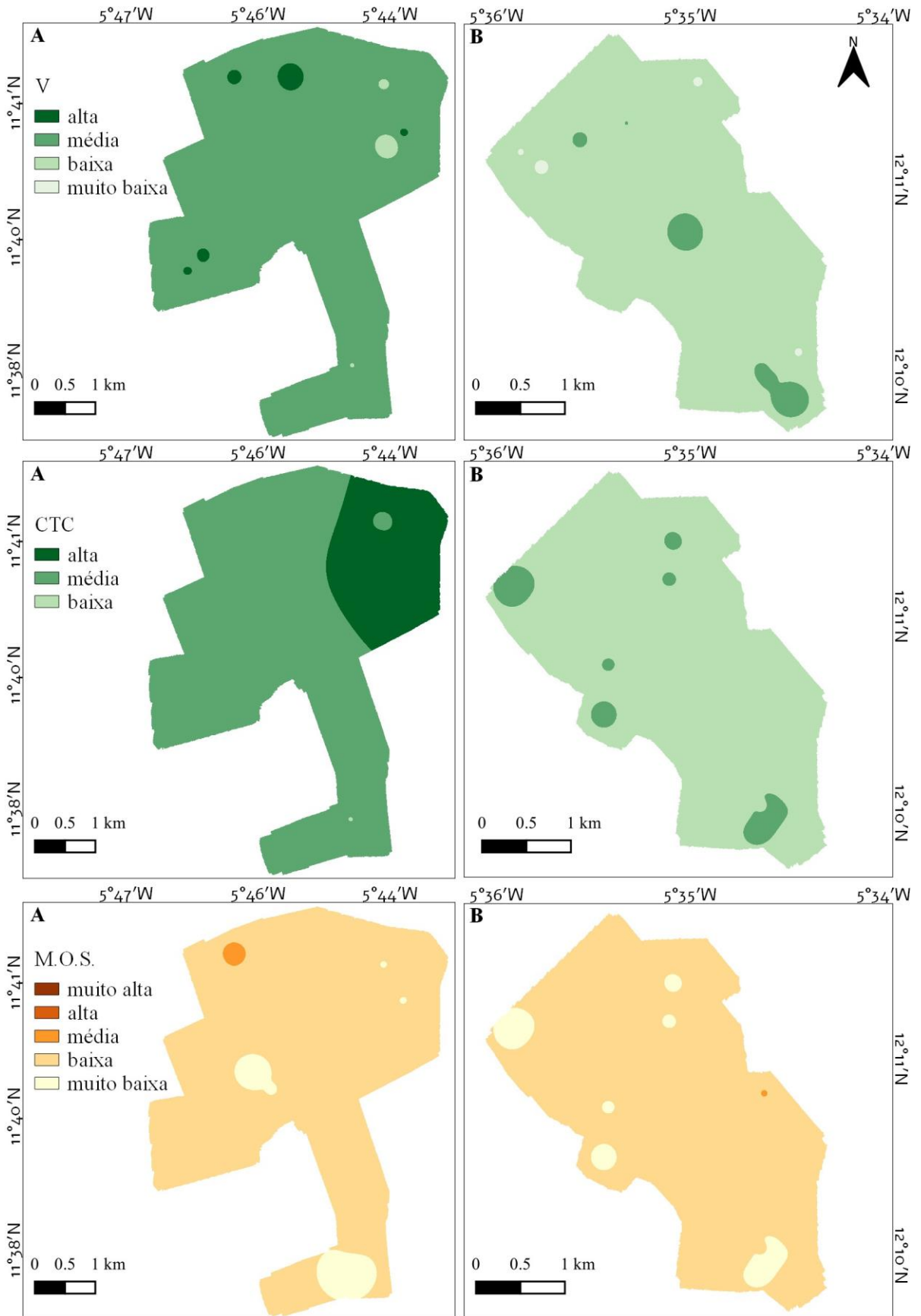
Na Figura 12 são apresentados os mapas das classes dos atributos de fertilidade V, CTC e MOS das aldeias. Observa-se que a classe dominante para o V na aldeia Siani foi média, com alguns pontos de classe alta e baixa. Por outro lado, na aldeia Bandiagara II a classe dominante foi a baixa, com alguns pontos médios e muito baixos. Em relação à CTC observa-se que em Siani a classe dominante foi a média, com uma área significativa de classe alta. Já na aldeia Bandiagara II a classe dominante foi a baixa, com alguns pontos de classe média. Com relação à MOS observa-se o domínio da classe baixa com pequenos pontos na classe muito baixa e uma pequena área na classe alta, em ambas aldeias.

4.3 USO E COBERTURA DO SOLO

A Figura 13 e a Tabela 10 mostram o mapa de uso e cobertura do solo e a área que cada tipo de uso ocupa. Em cada uma das aldeias, lavoura anual e vegetação nativa ocupam, juntas, mais de 75% da área total. Em Bandiagara II, as lavouras anuais recobrem mais da metade da área mapeada, enquanto em Siani esse número é de, aproximadamente, 43%. As áreas de vegetação nativa são maiores em Siani, porém Bandiagara II, apesar de apresentar menor área total, tem uma porcentagem maior de pastagem nativa. Possivelmente, isso se deve ao tipo de vegetação que é encontrada nesta aldeia, uma vez que Bandiagara II apresenta uma vegetação mais rasteira, com muitas gramíneas e arbustos de pequeno porte. Em Siani, as lavouras perenes ocupam 2,75% da área e são compostas principalmente por árvores frutíferas, como mangueiras, cajueiros e bananeiras. Já Bandiagara II não apresenta lavouras perenes com área bem definida, no entanto, nas duas aldeias observa-se muitas árvores dispersas (notadamente o néré, karité e baobá) em meio às lavouras anuais (Figura 06).

Apesar de Siani possuir um rio perene, a área ocupada por ele é virtualmente nula, e a aldeia não possui outros corpos d'água. Por outro lado, Bandiagara II possui apenas rios intermitentes, porém há algumas pequenas lagoas, que ocupam aproximadamente 0,2% da área da aldeia.

Figura 12 - Atributos de fertilidade do solo das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B): saturação por bases(V), capacidade de troca de cátions(CTC), matéria orgânica do solo(MOS)



Datum: WGS84

Figura 13 - Uso e cobertura do solo das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).

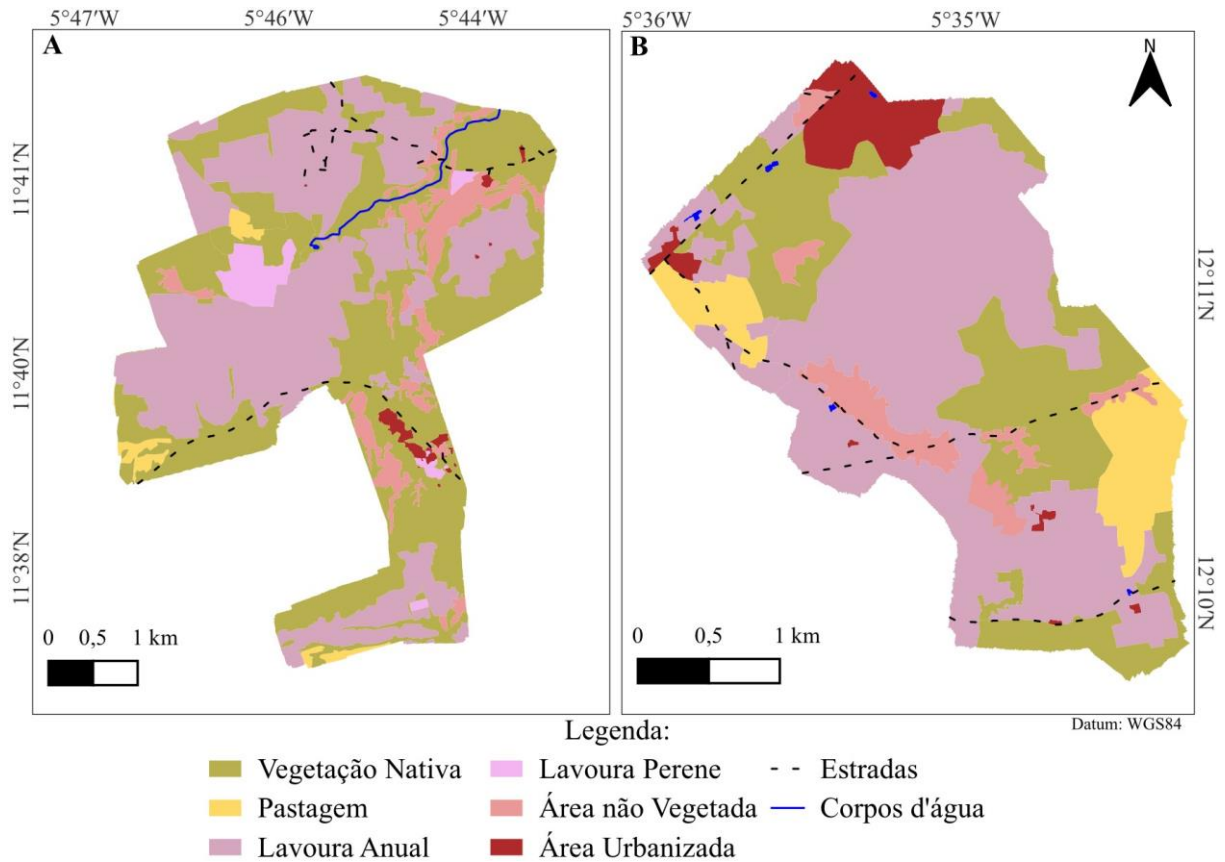


Tabela 10 - Área ocupada por cada classe de uso do solo nas aldeias Siani e Bandiagara II.

Uso do solo	Siani		Bandiagara II	
	ha	%	ha	%
Lavoura anual	806,71	43,27	479,06	51,48
Lavoura perene	51,25	2,75	0,00	0,00
Área não vegetada	133,86	7,18	53,03	5,73
Pastagem nativa	28,28	1,52	84,11	9,08
Vegetação nativa	827,88	44,40	257,12	27,78
Área urbanizada	16,54	0,89	51,29	5,70
Corpos d'água	0,00	0,00	1,21	0,23
TOTAL	1.864,52	100,00	925,82	100

4.4 CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO DO SOLO

A sobreposição dos mapas de declividade, erosão e solos, resultou em um total de 48 UM para Siani, e 20 UM para Bandiagara II. Para a classificação da capacidade de uso, foram considerados como fatores limitantes gerais, a textura, profundidade efetiva, drenagem, declividade e erosão laminar e em sulcos. Em relação aos fatores limitantes específicos, foram considerados: erosão eólica, capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V),

teor de matéria orgânica (MOS), velocidade do vento, pedregosidade e rochosoidade, risco de inundação, hidromorfismo, gradiente textural, regime hídrico, déficit hídrico e grau de encrostamento. A classificação dos fatores limitantes gerais e específicos para cada uma das UM de ambas as aldeias, encontra-se nas Tabelas 11 e 12, respectivamente.

A textura de todas as classes de solo foi definida como média, com exceção do Plintossolo Argilúvico distrófico que apresentou textura argilosa. A profundidade efetiva variou entre profunda nos Plintossolos Argilúvicos e no Cambissolo, moderada no Plintossolo Pétrico em Siani, rasa no Argissolo e Plintossolo Pétrico em Bandiagara II, e muito rasa também no Plintossolo Pétrico em Bandiagara II. A drenagem foi definida como imperfeita no Argissolo e nos Plintossolos e em Siani e como moderada no Cambissolo e em todas as classes de solo de Bandiagara II. Em relação à declividade, como exposto na Tabela 06, a maior parte do relevo é plano ou suave ondulado.

Foi constatada presença de erosão laminar em quase todas as UM em diferentes graus de intensidade, de ligeira a muito severa. As exceções foram apenas duas UM em Siani, onde esse tipo de erosão foi não aparente. Já a erosão em sulcos, não foi observada em 20 das 48 UM de Siani e em 5 das 20 UM de Bandiagara II. Nas áreas de ocorrência, a intensidade dos sulcos variou de rasos e frequentes a superiores e ocasionais.

Tabela 11 - Classificação dos fatores limitantes gerais das aldeias Siani e Bandiagara II.

UM	t	pe	dr	r	e	
					Laminar	Sulcos
Siani						
FFIf1	md.	mod.	imp.	f.ond.	mod.	r. fre.
FFIf2	md.	mod.	imp.	pl.	lig.	sup. oca.
FFIf3	md.	mod.	imp.	pl.	sev.	sup. oca.
FFIf4	md.	mod.	imp.	pl.	mod.	n.a.
FFIf5	md.	mod.	imp.	pl.	mt.sev.	r. fre.
FFIf6	md.	mod.	imp.	pl.	lig.	n.a.
FFIf7	md.	mod.	imp.	pl.	mod.	n.a.
FFIf8	md.	mod.	imp.	pl.	mod.	r. oca.
FFIf9	md.	mod.	imp.	pl.	lig.	r. oca.
FFIf10	md.	mod.	imp.	pl.	sev.	r. fre.
FFIf11	md.	mod.	imp.	pl.	mt.sev.	r. fre.
FFIf12	md.	mod.	imp.	pl.	sev.	r. fre.
FFIf13	md.	mod.	imp.	pl.	mt.sev.	r. fre.
FFIf14	md.	mod.	imp.	pl.	mod.	r. fre.
FFIf15	md.	mod.	imp.	pl.	mod.	sup. oca.

FFIf16	md.	mod.	imp.	pl.	mod.	r. fre.
FFIf17	md.	mod.	imp.	pl.	lig.	sup. oca.
FFIf18	md.	mod.	imp.	pl.	lig.	sup. oca.
FFIf19	md.	mod.	imp.	pl.	mod.	n.a.
FFIf20	md.	mod.	imp.	pl.	lig.	n.a.
FFIf21	md.	mod.	imp.	pl.	mod.	n.a.
FTe22	md.	prof.	imp.	pl.	mod.	sup. oca.
FTe23	md.	prof.	imp.	pl.	lig.	sup. oca.
FTe24	md.	prof.	imp.	pl.	lig.	sup. oca.
FTe25	md.	prof.	imp.	pl.	n.a.	sup. oca.
FTe26	md.	prof.	imp.	pl.	lig.	n.a.
FTe27	md.	prof.	imp.	pl.	lig.	sup. oca.
FTe28	md.	prof.	imp.	pl.	lig.	n.a.
FTe29	md.	prof.	imp.	pl.	mod.	r. fre.
FTe30	md.	prof.	imp.	pl.	lig.	sup. oca.
FTe31	md.	prof.	imp.	pl.	lig.	sup. oca.
CXve32	md.	prof.	mod.	s.ond.	lig.	n.a.
CXve33	md.	prof.	mod.	s.ond.	lig.	n.a.
CXve34	md.	prof.	mod.	s.ond.	lig.	n.a.
CXve35	md.	prof.	mod.	s.ond.	lig.	n.a.
CXve36	md.	prof.	mod.	s.ond.	lig.	sup. oca.
CXve37	md.	prof.	mod.	s.ond.	lig.	n.a.
CXve38	md.	prof.	mod.	pl.	mod.	r. fre.
CXve39	md.	prof.	mod.	s.ond.	sev.	r. fre.
CXve40	md.	prof.	mod.	pl.	sev.	r. fre.
CXve41	md.	prof.	mod.	s.ond.	lig.	n.a.
CXve42	md.	prof.	mod.	s.ond.	lig.	n.a.
CXve43	md.	prof.	mod.	pl.	lig.	n.a.
CXve44	md.	prof.	mod.	s.ond.	lig.	n.a.
PVAd45	md.	r.	imp.	s.ond.	n.a.	n.a.
PVAd46	md.	r.	imp.	s.ond.	mod.	r. fre.
PVAd47	md.	r.	imp.	pl.	lig.	n.a.
PVAd48	md.	r.	imp.	s.ond.	mod.	n.a.

Bandiagara II

FFIf1	md.	mt.r.	mod.	pl.	lig.	n.a.
FFIf2	md.	mt.r.	mod.	s.ond.	lig.	n.a.
FFIf3	md.	mt.r.	mod.	pl.	lig.	sup. fre.
FFIf4	md.	mt.r.	mod.	pl.	lig.	r. fre.
FFIf5	md.	mt.r.	mod.	pl.	sev.	sup. oca.
FFIf6	md.	mt.r.	mod.	pl.	lig.	sup. oca.
FFIf7	md.	mt.r.	mod.	pl.	sev.	r. fre.
FFIf8	md.	mt.r.	mod.	pl.	lig.	sup. oca.
FFIf9	md.	mt.r.	mod.	pl.	lig.	sup. fre.

FFIf10	md.	r.	mod.	pl.	mt.sev.	r. fre.
FFIf11	md.	r.	mod.	pl.	lig.	n.a.
FFIf12	md.	r.	mod.	pl.	lig.	sup. oca.
FFIf13	md.	r.	mod.	pl.	mod.	sup. oca.
FFIf14	md.	r.	mod.	s.ond.	lig.	n.a.
FFIf15	md.	r.	mod.	pl.	sev.	sup. oca.
FFIf16	md.	r.	mod.	pl.	mt.sev.	r. fre.
FFIf17	md.	r.	mod.	pl.	lig.	r. oca.
FFIf18	md.	r.	mod.	pl.	lig.	sup. oca.
FTd19	arg.	prof.	mod.	pl.	mod.	sup. oca.
FTd20	arg.	prof.	mod.	pl.	lig.	n.a.

*UM = unidade de mapeamento; t = textura; pe = profundidade efetiva; dr = drenagem; r = declividade; e = erosão; md.= médio(a); arg.=argiloso; md./arg = médio-argiloso; mt.r.= muito raso; r.= raso; prof. = profundo; mod.= moderado(a)/moderadamente; imp.= imperfeita; pl.= plano; s.ond.= suave ondulado; f.ond.= fortemente ondulado; lig.= ligeira; n.a.= não aparente; sev.= severa; mt.sev.= muito severa; sup.fre.= superficial e frequente; r.fre.= raso e frequente; sup.oca.= superficial e ocasional; r.oca.= raso e ocasional.

Tabela 12 - Classificação dos fatores limitantes específicos das aldeias Siani e Bandiagara II.

UM	CTC	V	MOS	ve	Pd/rd	i	ab	rh	dh	s	hi	ee
Siani												
FFIf1	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf2	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf3	al.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf4	al.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf5	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf6	al.	md.	bx.	mod.	n.p.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf7	al.	md.	bx.	mod.	mod. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf8	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf9	md.	md.	bx.	mod.	mod. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf10	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf11	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf12	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf13	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf14	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf15	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf16	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf17	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf18	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf19	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf20	md.	md.	bx.	mod.	n.p.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf21	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FTe22	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.

FTe23	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FTe24	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FTe25	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FTe26	md.	md.	bx.	mod.	n.p.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FTe27	md.	md.	bx.	mod.	n.p.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FTe28	md.	md.	md.	mod.	n.p.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FTe29	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FTe30	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FTe31	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
CXve32	al.	md.	bx.	mod.	mod. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
CXve33	md.	md.	bx.	mod.	mod. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
CXve34	al.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
CXve35	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
CXve36	al.	md.	bx.	mod.	lig. pd. rch.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
CXve37	md.	md.	bx.	mod.	mod. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
CXve38	md.	md.	bx.	mod.	mod. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
CXve39	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
CXve40	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
CXve41	md.	md.	mt.bx.	mod.	n.p.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
CXve42	md.	md.	mt.bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
CXve43	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
CXve44	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	bx.	mod.
PVAd45	md.	al.	bx.	mod.	n.p.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
PVAd46	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
PVAd47	md.	md.	bx.	mod.	n.p.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
PVAd48	md.	md.	bx.	mod.	mod. pd.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.

Bandiagara II

FFIf1	al.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf2	md.	bx.	bx.	mod.	mod. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf3	al.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf4	md.	md.	bx.	mod.	mod. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf5	md.	bx.	bx.	mod.	pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf6	md.	bx.	bx.	mod.	mod. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf7	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf8	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf9	md.	md.	bx.	mod.	mod. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf10	md.	bx.	bx.	mod.	mod. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf11	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf12	md.	bx.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf13	md.	bx.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf14	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf15	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFIf16	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.

FFf17	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FFf18	md.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	-	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FTd19	al.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.
FTd20	al.	md.	bx.	mod.	lig. pd.	fr.crt.	pres.	perst.	mod.	mt.al.	-	mod.

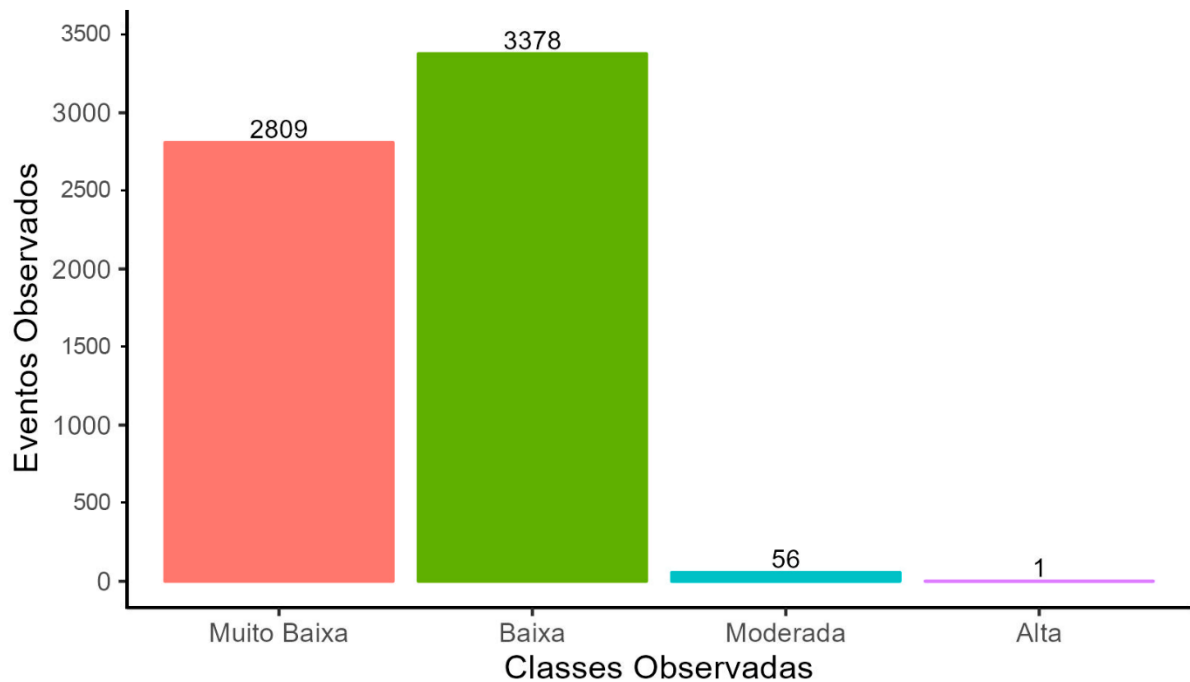
* UM= unidade de mapeamento; ve = vento; pd/rd = pedregosidade e rochosidade; i = risco de inundação; ab = gradiente textural; rh = regime hídrico; dh = déficit hídrico; s = grau de encrostamento; hi = hidromorfismo; ee = erosão eólica; md.= médio(a); mod.= moderada(o)/moderadamente; al.= alto; bx.= baixo; mt.bx.= muito baixo; lig.pd. = ligeiramente pedregoso; mod.pd.= moderadamente pedregoso; pd.= pedregoso; lig.pd.rch. = ligeiramente pedregoso e ligeiramente rochoso; n.p.= não pedregoso; fr.crt.= frequentes e curtas; pres.= presente; perst.= perústico; mt.al.= muito alto

Para a classificação da capacidade de uso da CTC, V e MOS, os valores utilizados, foram as médias da interpolação por IDW referentes a cada UM. Das 48 UM de Siani, apenas 7 foram classificadas como CTC alta e em Bandiagara II, 4 das 20 UM obtiveram a mesma classificação. Em todas as outras UM, a CTC foi classificada como média. A saturação por bases também foi enquadrada como média na grande maioria das UM. As exceções foram uma única UM em Siani, classificada como alta, e outras 6 UM em Bandiagara II classificadas como baixa. Em relação à MOS, apenas uma UM, localizada em Siani, foi classificada como média, todas as outras foram enquadradas como baixa e duas UM, também em Siani, como muito baixa.

A Figura 14 mostra a classificação das rajadas de vento registradas a cada hora na estação meteorológica localizada em Siani. No período observado, de julho de 2022 a março de 2023, foram registrados um total de 6244 eventos. O maior número de registros, 54% do total, foi enquadrado na classe baixa (ventos abaixo de 5 km h^{-1}), no entanto houve 56 registros de rajadas na classe moderada (entre 25 e 50 km h^{-1}) e um registro da classe alta (entre 50 e 75 km h^{-1}). Não houve registros referentes à classe muito alta. Além dos registros da estação meteorológica, relatos dos produtores e técnicos malineses sobre os impactos causados pelo vento e observações de campo, corroboraram para que esse fator fosse enquadrado na categoria mais limitante, como moderado, em ambas as aldeias.

A presença de pedregosidade foi observada em quase todas as UM, com algumas poucas exceções (8 UM) em Siani, porém a classe predominante foi ligeiramente pedregoso, que corresponde a aproximadamente, 15% da massa do solo recoberta por pedras. As imagens de alta resolução obtidas através de VANT permitiram fazer a análise detalhada da superfície do solo e realizar a classificação com boa precisão.

Figura 14 - Classificação da velocidade de rajadas de vento na aldeia Siani.



Foi observado que, após as chuvas, há empoçamento da água em diversos locais, porém, apesar de frequentes, as poças tem curta duração, de no máximo 2 dias, e acontecem apenas na estação chuvosa. Dessa forma, o risco de inundação foi classificado como inundações frequentes e curtas.

O gradiente textural foi encontrado nas classes dos Argissolos e Plintossolos Argilúvicos. Já o grau de encrostamento, como observado nos resultados expostos na Tabela 09, foi classificado como muito alto em todas as UM. O hidromorfismo foi registrado apenas no Cambissolo, que apresenta gleização abaixo de 1,0 m de profundidade, e, por isso, foi classificado como baixo. Em relação ao regime hídrico, ambas as aldeias foram classificadas como perústico, uma vez que se encontram nos mesmos bioma e clima. Por fim, levando em consideração os registros feitos pela estação meteorológica de Siani e observações de campo dos impactos causados pelo vento, a erosão eólica foi classificada como moderada.

Na Tabela 13 é possível visualizar as classes de capacidade de uso em cada uma das UM. Já a Figura 15 traz o mapa de classificação da capacidade de uso utilizando os três métodos para as aldeias Siani e Bandiagara II. Nota-se que para ambas as aldeias a natureza das limitações são referentes ao solo, à erosão e ao clima, variando para cada UM.

Em relação às metodologias, a maior diferenciação se deu em Bandiagara II. Nesta aldeia, os Métodos 1 e 2 se mostraram mais restritivos, chegando a apresentar classe VII em alguns Plintossolos, enquanto o Método 3 apresentou classe IV para as mesmas UM. Em Siani,

o Método 1 se mostrou o mais restritivo, com mais áreas classificadas como VI. Quanto aos Métodos 2 e 3, apenas três UM (FFIf5, FFIf11 e FFIf13) foram classificadas como IVe, devido à erosão laminar muito severa encontrada nas áreas de Plintossolos. Ainda sobre a aplicação dos Métodos 2 e 3 em Siani, todas as outras áreas apresentaram classe IV com diferentes limitações.

Tabela 13 - Classes de capacidade de uso do solo considerando os três métodos para cada unidade de mapeamento das aldeias Siani e Bandiagara II.

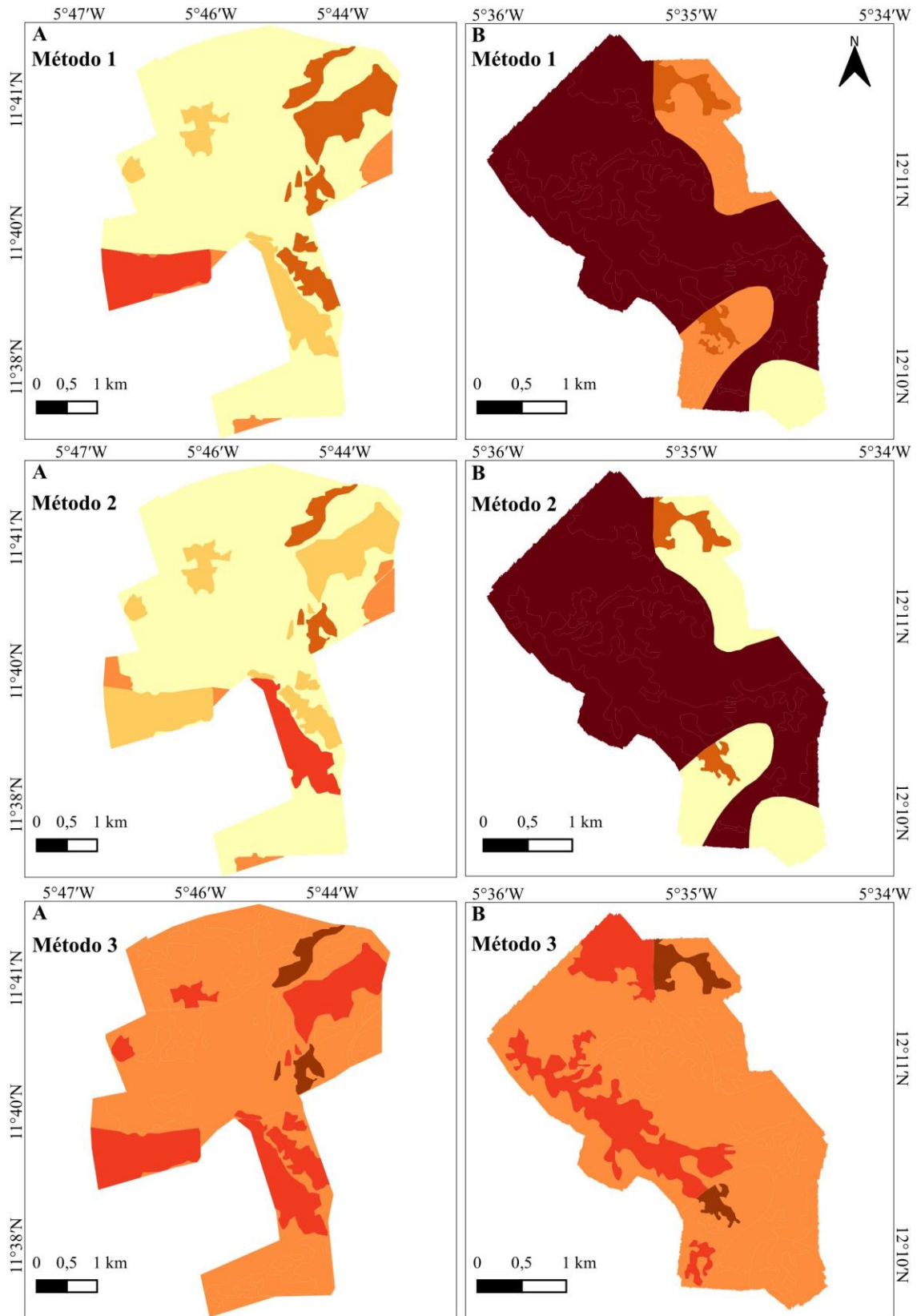
UM	Método 1	Método 2	Método 3
Siani			
FFIf1	IVe,c	IVe,c	IVs,e,c
FFIf2	IVc	IVc	IVs,c
FFIf3	VIe	IVe,c	IVs,e,c
FFIf4	IVc	IVc	IVs,c
FFIf5	VIe	VIe	VIe
FFIf6	IVc	IVc	IVs,c
FFIf7	IVc	IVs,c	IVs,c
FFIf8	IVc	IVc	IVs,c
FFIf9	IVc	IVs,c	IVs,c
FFIf10	VIe	IVe,c	IVs,e,c
FFIf11	VIe	VIe	VIe
FFIf12	VIe	IVe,c	IVs,e,c
FFIf13	VIe	VIe	VIe
FFIf14	IVe,c	IVe,c	IVs,e,c
FFIf15	IVc	IVc	IVs,c
FFIf16	IVe,c	IVe,c	IVs,c
FFIf17	IVc	IVc	IVs,c
FFIf18	IVc	IVc	IVs,c
FFIf19	IVc	IVc	IVs,c
FFIf20	IVc	IVc	IVs,c
FFIf21	IVc	IVc	IVs,c
FTe22	IVc	IVc	IVs,c
FTe23	IVc	IVc	IVs,c
FTe24	IVc	IVc	IVs,c
FTe25	IVc	IVc	IVs,c
FTe26	IVc	IVc	IVs,c
FTe27	IVc	IVc	IVs,c
FTe28	IVc	IVc	IVs,c
FTe29	IVe,c	IVe,c	IVs,e,c
FTe30	IVc	IVc	IVs,c
FTe31	IVc	IVc	IVs,c
CXve32	IVc,s	IVs,c	IVs,c

CXve33	IVc,s	IVs,c	IVs,c
CXve34	IVc	IVc	IVs,c
CXve35	IVc	IVc	IVs,c
CXve36	IVc	IVc	IVs,c
CXve37	IVs,c	IVs,c	IVs,c
CXve38	IVe,c	IVs,e,c	IVs,e,c
CXve39	VIe	IVe,c	IVs,e,c
CXve40	VIe	IVe,c	IVs,e,c
CXve41	IVc	IVc	IVs,c
CXve42	IVc	IVc	IVs,c
CXve43	IVc	IVc	IVs,c
CXve44	IVc	IVc	IVs,c
PVAd45	IVs,c	IVc	IVs,c
PVAd46	IVs,e,c	IVe,c	IVs,e,c
PVAd47	IVs,c	IVc	IVs,c
PVAd48	IVs,c	IVs,c	IVs,c

Bandiagara II

FFIf1	VIIIs	VIIIs	IVs,c
FFIf2	VIIIs	VIIIs	IVs,c
FFIf3	VIIIs	VIIIs	IVs,c
FFIf4	VIIIs	VIIIs	IVs,e,c
FFIf5	VIIIs	VIIIs	IVs,e,c
FFIf6	VIIIs	VIIIs	IVs,c
FFIf7	VIIIs	VIIIs	IVs,e,c
FFIf8	VIIIs	VIIIs	IVs,c
FFIf9	VIIIs	VIIIs	IVs,c
FFIf10	VIe	VIe	VIe
FFIf11	IVs,c	IVc	IVs,c
FFIf12	IVs,c	IVc	IVs,c
FFIf13	IVs,c	IVc	IVs,c
FFIf14	IVs,c	IVc	IVs,c
FFIf15	VIe	IVc	IVs,e,c
FFIf16	VIe	VIe	VIe
FFIf17	IVs,c	IVc	IVs,e,c
FFIf18	IVs,c	IVc	IVs,c
FTd19	IVc	IVc	IVs,c
FTd20	IVc	IVc	IVs,c

Figura 15 - Classes de capacidade de uso do solo das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).



- Legenda
- IVc
 - IVe,c
 - IVs,c
 - IVs,e,c
 - VIe
 - VI,s,e,c
 - VIIs

Datum: WGS84

Especificamente em relação ao Método 3, em ambas as aldeias, a maior parte das UM foi enquadrada como classe IV, o que representa mais de 96% da área total de cada uma. A maior parte das UM (74,20% em Siani e 77,63% em Bandiagara II) tiveram limitações de uso em relação ao solo e ao clima (IVs,c), porém em algumas áreas foram encontradas também limitações em relação à erosão (IVs,e,c). Houve ainda três UM em Siani e duas UM em Bandiagara II, que equivalem a cerca de 3% da área de ambas, que apresentaram capacidade de uso de classe VI, com limitações em relação a erosão (VIe). Essas UM, em especial, representam pouco mais de 3% da área total de cada aldeia e foram enquadradas assim devido à erosão laminar muito severa presente nas áreas.

Os fatores limitantes do Método 3 que possibilitaram o enquadramento nas subclasses (Figura 01), foram: profundidade efetiva, MOS, grau de encrostamento e pedregosidade/rochosidade (subclasse solos); erosão laminar e em sulcos (subclasse erosão); regime hídrico e vento (subclasse clima). A área ocupada por cada classe de capacidade de uso em ambas as aldeias, considerando o Método 3, pode ser visualizada na Tabela 14.

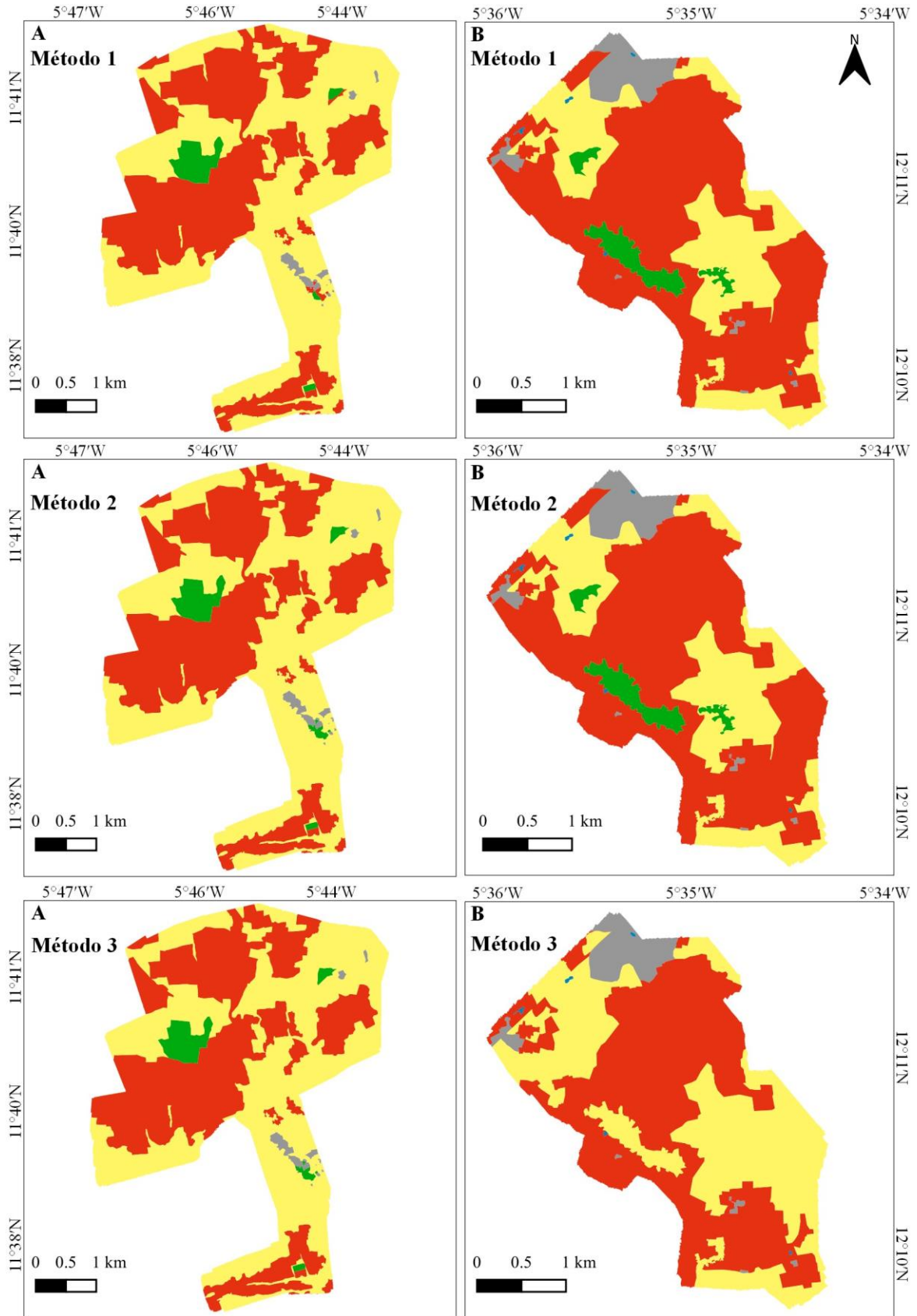
Tabela 14 - Área de cada classe de capacidade de uso do solo das aldeias Siani e Bandiagara II, considerando o Método 3.

Classes de capacidade de uso do solo	Aldeias			
	Siani		Bandiagara II	
	Área (ha)	Porcentagem da área (%)	Área (ha)	Porcentagem da área (%)
IVs,c	1383,54	74,20	718,67	77,63
IVe,s,c	422,63	22,67	173,37	18,73
VIe	58,35	3,13	33,78	3,65
Total	1864,52	100	925,82	100

4.5 ADEQUAÇÃO DE USO E MANEJO CONSERVACIONISTA

Na Figura 16 são apresentados os mapas de potencial de uso do solo, considerando os métodos 1, 2 (baixo nível de manejo) e 3 (método adaptado) e na Tabela 15, as porcentagens de adequabilidade de uso referente a cada método.

Figura 16 - Potencial de uso do solo das aldeias Siani (A) e Bandiagara II (B).



Legenda

- < potencial de uso
- > potencial de uso
- área urbanizada
- corpos d'água
- uso adequado

Datum: WGS84

Tabela 15 - Adequabilidade de uso das aldeias Siani e Bandiagara II.

Adequabilidade	Método 1		Método 2		Método 3	
	Siani	Bandiagara II	Siani	Bandiagara II	Siani	Bandiagara II
< potencial de uso	44,37	60,79	43,43	60,79	43,43	51,46
> potencial de uso	52,92	28,01	52,92	28,01	52,92	42,60
uso adequado	1,83	5,27	2,77	5,27	2,77	0,0
Área urbanizada e corpos d'água	0,88	5,93	0,88	5,93	0,88	5,93
Total	100	100	100	100	100	100

O Método 3 apresentou maior diferenciação em relação aos outros métodos, na aldeia Bandiagara II. As áreas de menor potencial de uso, que indica sobreutilização, foram menores em Bandiagara II quando utilizado o Método 3 e iguais para os Métodos 1 e 2. Em Siani, os Métodos 2 e 3 também foram iguais, porém menores quando comparados ao Método 1. As áreas de maior potencial de uso (subutilizadas) foram iguais em Siani para os três métodos. Em Bandiagara II, os Métodos 1 e 2 também foram iguais, porém apresentaram menor área em relação ao Método 3. Por fim, as áreas de uso adequado foram as mesmas em Bandiagara II para os Métodos 1 e 2. Em Siani, o Método 1 apresentou uma área menor em relação aos Métodos 1 e 2, que apresentaram resultados iguais. Não foram identificadas áreas de uso adequado em Bandiagara II, quando utilizado o Método 3.

5 DISCUSSÃO

5.1 CLASSIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE USO

A técnica de fotogrametria por VANT foi importante para realizar a classificação da capacidade de uso nas aldeias agrícolas do Mali, devido, principalmente, ao nível de detalhes que esse tipo de mapeamento permite. A alta resolução espacial dos ortomosaicos (Figura 08) permitiu uma fotointerpretação com grande precisão de fatores importantes para a determinação da capacidade de uso e o planejamento do manejo conservacionista proposto para as aldeias. Entre estes fatores estão o grau de erosão, a pedregrosidade e rochiosidade da superfície e o uso e cobertura do solo. Como as aldeias não possuem grande extensão territorial e apresentam um terreno com cobertura muito heterogênea, o uso do VANT permitiu um mapeamento eficiente em escala de propriedade, com visualização e diferenciação de detalhes que não seria possível com uso de imagens de satélite com resolução espacial na escala de metros.

A alta resolução espacial das imagens de VANT permite também a superação de algumas limitações na resolução espectral que esta tecnologia pode apresentar (LU, HE, 2017). Em geral, os satélites de imageamento da superfície terrestre se caracterizam por serem multiespectrais, com resolução espectral variando do visível ao infravermelho de ondas curtas. Neste sentido, as bandas presentes no infravermelho se tornam de grande importância para mapeamentos de uso e cobertura, pois registram de forma mais precisa o sinal de diferentes tipos de vegetação (ABDALKADHUM et al., 2020; ASLAHISHAHRI et al., 2021). Neste trabalho, os ortomosaicos foram construídos com as bandas RGB do visível, que possuem como limitação a menor capacidade de detecção do comportamento espectral da vegetação. No entanto, a resolução espacial na escala centimétrica ($3,4 \text{ cm pixel}^{-1}$) permitiu a discriminação visual dos diferentes usos (agricultura, pastagens, vegetação nativa, construções, corpos d'água), traçando os limites destas classes com um nível de exatidão que não seria possível com imagens de satélite.

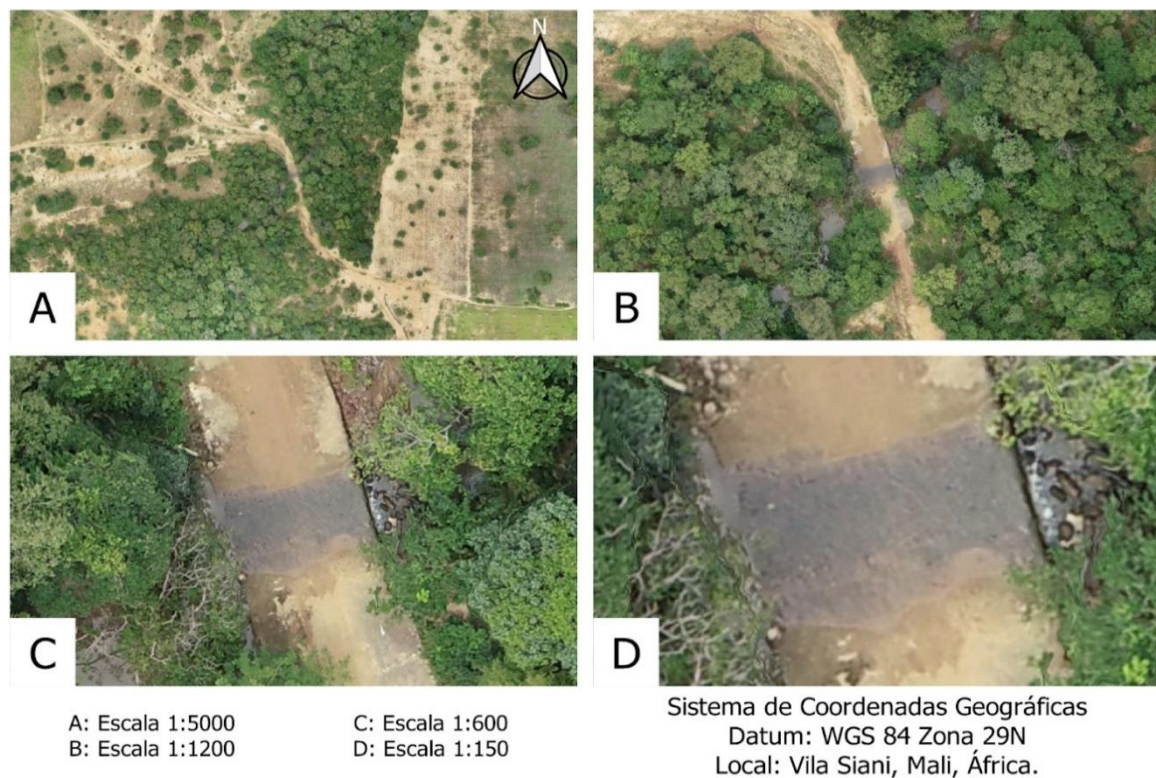
Isso também vale para a classificação da pedregosidade e rochosoidade (Figura 18), que foi determinada para as unidades de mapeamento a partir da identificação visual de cascalhos, matacões e afloramentos rochosos de diferentes tamanhos, mesmo em superfícies vegetadas, onde a identificação destes elementos seria impraticável com imagens de satélite. Por fim, a classificação detalhada dos tipos de erosão (laminar e em sulcos) foi possível apenas com o uso do VANT, uma vez que foram identificadas áreas extensas de solo exposto nas aldeias estudadas.

A Figura 17 exemplifica a resolução que é possível ser alcançada utilizando um sensor embarcado em VANT. Nela é possível observar um local da aldeia Siani em que o leito de um rio se sobrepõe à uma faixa de estrada. No planejamento conservacionista de uso do solo é recomendado que as áreas de maior fragilidade ambiental, como aquelas adjacentes aos corpos d'água (perenes e não perenes), sejam destinadas à preservação (SILVA et al., 2013). A adoção desta medida tem como objetivo preservar os corpos hídricos, principalmente em um ambiente em que o déficit hídrico e a escassez de água superficial nas aldeias são um ponto crítico para a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Em relação à classificação da erosão nas aldeias agrícolas do Mali, é válido chamar a atenção para alguns detalhes. O método original proposto por Lepsch et al. (2015) se baseia em diferentes tipos de informações ambientais, envolvendo atributos do terreno e vegetação, para a definição das unidades de mapeamento da capacidade de uso. Esta abordagem é baseada em “modelos conceituais solo-paisagem” e foi aplicada neste trabalho. Porém, para a adaptação do método às condições das aldeias malinesas, três informações ambientais foram estabelecidas

para serem usadas na definição das unidades de mapeamento: classes de solo, declividade e erosão, selecionadas após observações de campo e por representarem bem a variabilidade ambiental dessas aldeias. Estas três informações também foram utilizadas por Taveira et al. (2019) na definição das unidades de mapeamento na classificação da capacidade de uso em Minas Gerais, Brasil.

Figura 17 - Imagens obtidas com o VANT demonstrando a disposição da estrada em relação à rede de drenagem na aldeia Siani, em diferentes escalas.



Tanto as classes de solos como a declividade são atributos ambientais cujos métodos de obtenção são bastante consagrados na literatura (EVANS, 1979; IUSS WORKING GROUP, 2015; SANTOS et al., 2015; TRAVIS et al., 1975). O mapa de classes de solos foi gerado a partir do mapeamento convencional baseado na fotointerpretação dos ortomosaicos de VANT e na identificação, descrição morfológica e classificação dos perfis de solo descritos em Santos et al. (2023). A declividade, por sua vez, é um dos principais atributos morfométricos do relevo e é facilmente obtida em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica a partir de Modelo Digital de Elevação (FELGUEIRAS, CÂMARA, 2001).

Por outro lado, o mapeamento da erosão da superfície é uma abordagem muito mais complexa de se fazer, pois não há uma metodologia padronizada. Em geral, autores que tentam trabalhar a espacialização da erosão focam na determinação da mesma a partir do uso de atributos morfométricos, que estimam o potencial erosivo do relevo (FRIEDRICH, 1998), ou a

partir do mapeamento da erodibilidade dos solos, que avaliam sua fragilidade a partir de atributos como textura e teor de matéria orgânica (MARQUES et al., 1997; SILVA et al., 1999; WISCHMEIER, SMITH, 1978). Outra abordagem envolve o uso da Equação Universal de Perda de Solos, que utiliza uma análise integrada de diferentes fatores ambientais e antrópicos para a estimativa da erosão, mas que muitas vezes carece de validações de campo (WISCHMEIER, SMITH, 1978).

5.2 ADAPTAÇÃO DO MÉTODO PARA AS CONDIÇÕES MALINESAS

Além do uso da fotogrametria por VANT adaptado para o nível de precisão que o mapeamento das aldeias agrícolas do Mali requer, outra adaptação muito importante da metodologia de mapeamento da capacidade uso do solo foi a adequação das classes de capacidade de uso para as condições das aldeias estudadas. No método original, proposto por Lepsch et al. (2015), as classes que definem o grau de limitação do uso são delimitadas para sistemas de manejo mais complexos. Estes sistemas com alto nível de mecanização, englobam o uso de maquinários e recursos tecnológicos que não estão disponíveis para os sistemas de manejo de baixa complexidade, empregados pelas famílias agricultoras de Siani e Bandiagara II. Para estes casos, um passo fundamental da adaptação do método, empregado neste trabalho com base em Taveira et al. (2019), foi a flexibilização das classes de limitação do uso para alguns dos fatores mais importantes na área de estudo, considerando-se também que tais sistemas de manejo menos complexos possuem um potencial de esgotamento do solo menor.

Entre os fatores limitantes gerais, as adaptações que tiveram maior relevância para as aldeias estudadas foram aquelas envolvendo a profundidade efetiva e a erosão laminar. As classes de profundidade efetiva moderada e rasa, amplamente encontradas na área de estudo, são classificadas no Método 1 (LEPSCH et al., 2015) com as capacidades II e III, respectivamente, enquanto em ambos os Métodos 2 (TAVEIRA et al., 2019) e 3 (adaptado neste trabalho) as capacidades de profundidade efetiva moderada e rasa foram classificadas nas capacidades I e II, respectivamente. Por sua vez, a classe de profundidade muito rasa apresentou capacidade VI nos Métodos 1 e 2 e capacidade IV no Método 3. As classes de erosão laminar e severa, também muito encontradas, possuem classes de capacidade II e VI no método original, e I e IV no método adaptado, respectivamente.

Dessa forma, no Método 3, a profundidade efetiva foi limitante apenas nos Plintossolos Pétricos de Bandiagara II classificados como muito rasos. Como o manejo praticado nas aldeias é manual e por tração animal, a mecanização não é relevante sobre esse fator. No entanto, essa

classe de solo apresenta, caracteristicamente, uma camada de petroplintita que gera grandes restrições ao uso agrícola devido, principalmente, à baixa capacidade de armazenamento de água (SANTOS et al, 2023).

Em relação aos fatores específicos, as mudanças mais importantes estiveram associadas à pedregosidade e risco de inundação. A classe de pedregosidade mais encontrada nas aldeias foi a ligeiramente pedregosa que, no Método 1 possui classe III e nos Métodos 2 e 3 possui classe II. Por sua vez, o risco de inundação frequente e curto foi classificado como classe V e IV nos Métodos 1 e 2, respectivamente, e classe III no Método 3.

Tal adaptação no Método 3, de flexibilização dos critérios de classificação, está diretamente associada ao princípio de que os sistemas manejo de baixa complexidade não necessitam de restrições tão severas quanto à capacidade de uso. Além disso, também há o reconhecimento da habilidade dos produtores malineses de praticar o manejo agrícola conservacionista mesmo com condições ambientais restritivas. Isto se aplica diretamente ao manejo agrícola executado sobre solos rasos, pedregosos e com encharcamento frequente.

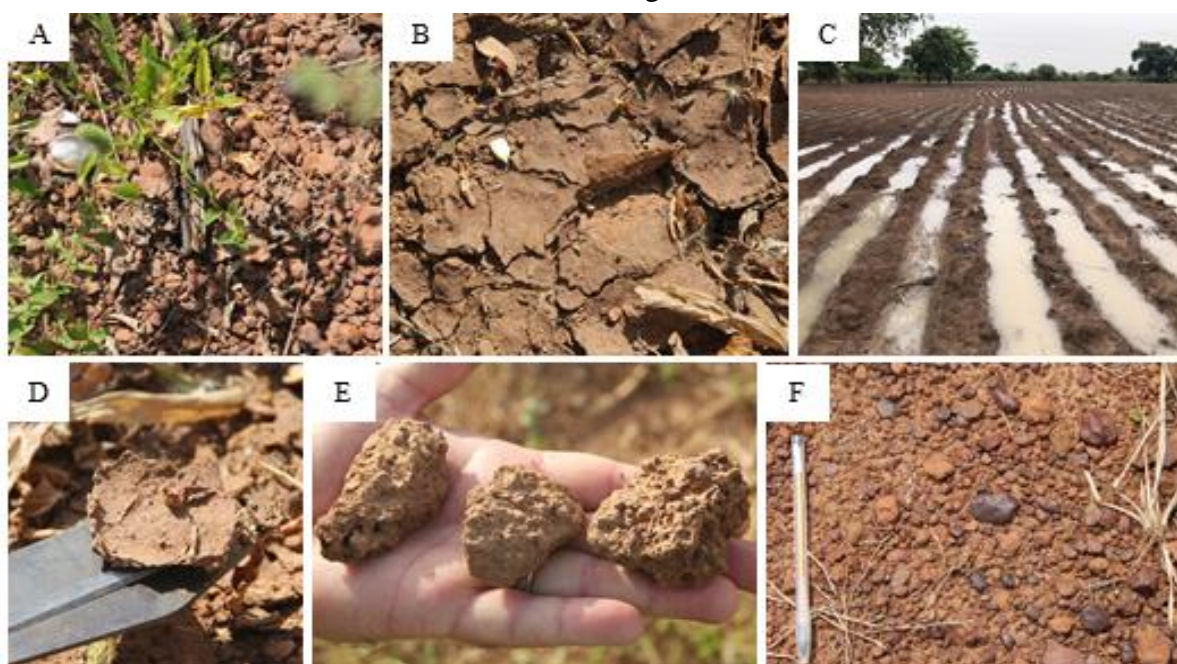
Em geral, as adaptações das classes de capacidade de uso adotadas neste trabalho seguem de perto a adaptação realizada por Taveira et al. (2019) para sistemas agrícolas de baixa complexidade em Minas Gerais. No entanto, a principal diferença em relação ao sistema de Taveira et al. (2019) envolveu a classificação da profundidade efetiva muito rasa. Neste grau de profundidade, Taveira et al. (2019) seguem Lepsch et al. (2015) e utilizam a classe VII, que define terras apropriadas apenas para pastagens e/ou reflorestamento, com cultivo restrito a culturas permanentes protetoras do solo. Por sua vez, a adaptação adotada neste trabalho classificou estas áreas como IV, que permite o uso agrícola, mesmo que de forma bastante limitada devido a problemas de conservação. Isto, mais uma vez, está diretamente associado à capacidade que os agricultores locais possuem de cultivar, mesmo que adotando práticas conservacionistas intensivas, em áreas de solos muito rasos que são comuns na região estudada, devido à presença de Plintossolos. Estas alterações no Método 3 resultaram nas diferenças encontradas no mapa de potencial de uso do solo na aldeia Bandiagara II, como já constatado anteriormente (Figura 16).

Por fim, outra adaptação bastante relevante foi a inclusão de fatores limitantes específicos não existentes no método original de Lepsch et al. (2015). Assim como Taveira et al. (2019) aplicaram nos sistemas de manejo de baixa complexidade estudados pelos autores, neste trabalho utilizou-se atributos de fertilidade do solo como fatores limitantes. Lepsch et al. (2015), desconsideraram tais atributos em sua proposta original pois, nos sistemas de manejo com alta complexidade, o uso intensivo de insumos agrícolas faz com que as características químicas

do solo sejam facilmente corrigíveis e, portanto, não limitantes. Essa situação não se aplica às aldeias agrícolas do Mali, pois, além dos solos apresentarem naturalmente escassez de fertilidade e carbono orgânico (Figura 12, Tabela 08), o acesso à fertilizantes e corretivos agrícolas é limitado.

Além disso, a inserção de fatores como déficit hídrico, grau de encrostamento e velocidade do vento, também denota a adaptação metodológica necessária para uma inclusão mais abrangente das características pedológicas e ambientais do sul do Mali. Os dois últimos fatores, em especial, são importantes na região do Sahel. A formação de crostas superficiais é característica comum aos solos da região (PIERI, 1989). As camadas finas e compactadas de baixa porosidade e infiltração de água (Figura 18), potencializam o escoamento superficial e a erosão do solo e dificultam a germinação e emergência de plântulas, entre outros problemas (MAÏGA-YALEU et al., 2015; MALAM-ISSA et al., 2011; VALENTIN, 1993). Já a velocidade do vento, é a força motriz da erosão eólica, que também pode contribuir para a perda de fertilidade e de solo. No Sahel, a maioria dos solos agrícolas são altamente suscetíveis à erosão eólica, pois, além das condições climáticas favoráveis, não possuem cobertura vegetal suficiente para protegê-los (STERK, 2003; TOURE, 2011). A Figura 18 mostra registros feitos em campo de algumas das limitações físicas encontradas nas aldeias, como pedregosidade, encrostamento e inundação.

Figura 18 - Registros de pedregosidade, encrostamento e inundação encontrados nas aldeias Siani e Bandiagara II.



A – área vegetada com alta pedregosidade; B – encrostamento formado no solo; C – empoçamento em área agrícola logo após a chuva; D – detalhes de crosta formada na superfície do solo; E – concreção

típica de Plintossolo Pétrico; F – superfície com alta pedregosidade.

5.3 ADEQUAÇÃO DE USO E MANEJO CONSERVACIONISTA

O Método 3 se mostrou o mais flexível em relação aos outros métodos, principalmente em Bandiagara II, que apresentou mais áreas com maior potencial de uso. De acordo com Lepsch et al. (2015), as unidades de mapeamento enquadradas como classe IV são próprias para cultivos anuais ocasionais, lavouras perenes e culturas em rotação ou consórcio com pastagens e/ou silvicultura. Já as terras classificadas como classe VI, apresentam limitações severas e não são adequadas às lavouras, devendo ser destinadas à silvicultura ou pastagem com pouco revolvimento do solo (Figura 02).

Os usos do solo mais recomendados para as aldeias são o uso agrícola (considerando as culturas anuais e perenes), pastagens (plantadas e nativas), florestas plantadas e a conservação ambiental de áreas de maior fragilidade, como áreas adjacentes à corpos d'água e com afloramentos rochosos. No entanto, devido à importância econômica que a atividade agrícola tem para a população local e ao espaço limitado que pode ser utilizado como lavoura, não é possível fazer grandes modificações nos arranjos de uso atual das áreas. Por esse motivo, é importante realizar o manejo conservacionista, a fim de preservar o solo e seus serviços ecossistêmicos. Porém, é essencial realizá-lo nas áreas de lavoura anual e pastagem que apresentaram menor potencial de uso (sobretudo utilização), a fim de mitigar a degradação dos solos ou até mesmo restaurá-los.

As medidas de conservação de solo e água são uma maneira eficaz de melhorar o gerenciamento dos recursos hídricos e reduzir a degradação do solo, que acarreta diversos problemas como a escassez de água e alimentos, perda de produtividade e renda e conflitos por recursos ambientais. O uso racional da terra, além de melhorar a produtividade agrícola, pode também ajudar a mitigar os efeitos das mudanças climáticas a médio prazo e proporcionar maior segurança alimentar e resiliência para a população. No entanto, é importante ressaltar que, a adoção dessas práticas exige um comprometimento de longo prazo e de ações governamentais, a fim de que seus impactos positivos perdurem por gerações (ACKERMAN et al., 2012; BAYEN et al., 2016; NORD et al., 2016).

No Sahel Ocidental, onde estão localizadas as áreas de estudo, algumas das práticas conservacionistas mais utilizadas incluem: cordões de vegetação, linhas de pedra (barreiras de pedra construídas ao longo do terreno a fim de controlar a erosão), meia-lua (buracos rasos, escavados em formato semicircular com a abertura perpendicular ao fluxo de água) e zaï

(técnica tradicional que consiste na escavação de covas de plantio perpendiculares ao declive do terreno e de forma que a terra escavada forme um pequeno cume ao redor da borda) (ACKERMAN et al., 2012; NORD et al., 2016; NYAMEKYE et al., 2018; ZOUGMORÉ et al., 2003).

Em Siani e Bandiagara II, foram instalados campos experimentais, denominados Unidades Técnicas Demonstrativas, onde algumas das práticas conservacionistas citadas acima foram implantadas, adaptadas de acordo com o clima, tipo de vegetação e solo da região, conforme demonstrado na Figura 19. Dentre elas: plantio em nível, terraços de base estreita nos solos mais profundos (Figura 19 A e B), linhas de pedra nos solos mais rasos (Figura 19 C e G), cordões de vegetação (Figura 19 D, E e F) e manutenção de espécies arbóreas, principalmente néré, karité e baobá nas áreas de cultivo agrícola (Figura 06 e Figura 19 G). Essas práticas, juntamente com a adequabilidade do solo elaborada neste trabalho, possibilitarão o suporte para ações de difusão e intervenção visando a implantação do manejo conservacionista nas aldeias agrícolas, permitindo uma produção sustentável, a redução da erosão hídrica e a preservação dos solos.

Figura 19 - Práticas conservacionistas utilizadas nas aldeias Siani e Bandiagara II.



A - Terraço de base estreita; B - construção de terraço de base estreita, utilizando o implemento plaina

acoplado a um trator de pequeno porte; C - linha de pedra; D - cordão de vegetação com *Crotalaria spectabilis*; E – cordão de vegetação com *Pennisetum purpureum* Schum.; F- cordão de vegetação em cultivo de milho; G – Disposição das linhas de pedras com espaçamento horizontal de 25 m.

6 CONCLUSÕES

Através da metodologia adaptada foi possível realizar a classificação da capacidade de uso nas aldeias agrícolas de Siani e Bandiagara II, no Mali, além de realizar a adequabilidade das terras, identificando as áreas que possuem o uso adequado à sua capacidade e aquelas que apresentam maior ou menor potencial de uso. Em ambas as aldeias, foram definidas as seguintes classes de capacidade de uso: IVs,c (terras cultiváveis ocasionalmente ou em extensão limitada ou destinadas à lavouras perenes, que apresentam limitações relativas ao solo e ao clima), IVe,s,c (terras cultiváveis ocasionalmente ou em extensão limitada ou destinadas à lavouras perenes, que apresentam limitações relativas à erosão, ao solo e ao clima) e VIe (terras adequadas à pastagem e/ou reflorestamento de forma moderada, que apresentam limitações relativas à erosão).

A técnica de fotogrametria através de VANT foi essencial para a adaptação e aplicação da metodologia de classificação da capacidade de uso, pois permitiu realizar o levantamento do solo com alta resolução espacial além de possibilitar a análise de certos critérios, como erosão e pedregosidade, que só seriam possíveis de serem analisadas em campo. A partir dos ortomosaicos de alta resolução gerados, foi possível a elaboração dos mapas de índice de vegetação, erosão e uso e cobertura, essenciais para a elaboração do mapa de capacidade de uso e de adequabilidade.

Os critérios diagnósticos selecionados para os fatores limitantes gerais e específicos se mostraram adequados para realizar a caracterização das áreas e, conseqüentemente, a classificação da capacidade de uso. Em relação ao Método 1, foram adicionados fatores limitantes relacionados à fertilidade dos solos (CTC, V e MOS), ao clima (regime hídrico), à disponibilidade de água (drenagem e déficit hídrico) e ao solo (grau de encrostamento).

O Método 3, adaptado às condições das aldeias malinesas, se mostrou o mais flexível entre os métodos aplicados. A maior diferenciação ocorreu na aldeia Bandiagara II, onde esse método apresentou os maiores índices de área com maior potencial de uso, ou subutilizada. A profundidade efetiva foi o fator no qual a classificação mais se diferenciou dos outros métodos. A erosão laminar foi o fator mais limitante nas unidades de mapeamento em que se apresentou de forma muito severa, sendo enquadrada na classe VI.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABC. Agência Brasileira De Cooperação (Brasil). Programa de apoio ao desenvolvimento do setor cotonícola nos países do Cotton-4. **Ministério das Relações Exteriores**. Disponível em: <<http://www.abc.gov.br/Projetos/CooperacaoSulSul/Cotton4>>. Publicado em: 2014. Acesso em: 08 de nov. de 2021.

ABC. Agência Brasileira De Cooperação (Brasil). Novo projeto contribuirá para o desenvolvimento socioeconômico do Mali. **Ministério das Relações Exteriores**. Disponível em: <<http://www.abc.gov.br/imprensa/mostrarconteudo/1142>>. Publicado em: 15 de jul. de 2019. Acesso em: 05 de set. de 2021.

Abdalkadhum, A.J.; Salih, M. M.; Jasim, O. Z. Combination of visible and thermal remotely sensed data for enhancement of Land Cover Classification by using satellite imagery. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. 2020, 737. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/737/1/012226>

Abd-Elmabod, S. K.; Jordán, A.; Fleskens, L.; Phillips, J. D.; Muñoz-Rojas, M.; van der Ploeg, M.; Anaya-Romero, M.; El-Ashry, S.; de la Rosa, D. Modeling Agricultural Suitability Along Soil Transects Under Current Conditions and Improved Scenario of Soil Factors. In: Abd-Elmabod, S. K. et al. **Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management**. [S. l.]: Elsevier. 2017. cap. 7, p. 193-219. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805200-6.00007-4>

Ackermann, K.; Schöning, A.; Wegner, Martina; Wetzer, Andrea. **Good Practices in Soil and Water Conservation**: A contribution to adaptation and farmers' resilience towards climate change in the Sahel. [S. l.]: GIZ. 2012, 58p.

Adimassu, Z.; Langan, S.; Johnston, R.; Mekuria, W.; Amede, T. Impacts of Soil and Water Conservation Practices on Crop Yield, Run-off, Soil Loss and Nutrient Loss in Ethiopia: Review and Synthesis. **Environmental Management**. 2017, 59, p. 87–101. <https://doi.org/10.1007/s00267-016-0776-1>

Agüera-Vega, F.; Carvajal-Ramírez, F.; Martínez-Carricondo, P.; Sánchez-Hermosilla López, J.; Mesas-Carrascosa, F. J.; García-Ferrer, A.; Pérez-Porras, F. J. Reconstruction of extreme topography from UAV structure from motion photogrammetry. **Measurement**. 2018, 121, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.02.062>

Amogu, O.; Esteves, M.; Vandervaere, J.-P.; Malam Abdou, M.; Panthou, G.; Rajot, J.-L.; Yéro, K. S.; Boubkraoui, S.; Lapetite, J.-M.; Dessay, N.; Zin, I.; Bachir, A.; Moussa, I. B.; Maïga, O. F.; Gautier, E.; Mamadou, I.; Descroix, L. Runoff evolution due to land-use change in a small Sahelian catchment. **Hydrological Sciences Journal**. 2014, 60(1), 78–95.

Aslahishahri, M.; Stanley, K. G.; Duddu, H.; Shirtliffe, S.; Vail, S.; Bett, K.; Pozniak, C.; Stavness, I. From RGB to NIR: Predicting of Near Infrared Reflectance from Visible Spectrum Aerial Images of Crops. **IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshops**. 2021, p. 1312-1322

ASPRS. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Guidelines for Procurement of Professional Aerial Imagery, Photogrammetry, Lidar and Related Remote

Sensor-based Geospatial Mapping Services. 2018. Disponível em: <<https://www.asprs.org/organization/what-is-asprs>> Acesso em: 09 de ago. de 2023

Baritz, R.; Wiese, L.; Verbeke, I.; Vargas, R. Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management: Global Action for Healthy Soils. **International Yearbook of Soil Law and Policy**. 2017, 17-36. doi:10.1007/978-3-319-68885-5_3

Bayen, P.; Lykke, A.M.; Thiombiano, A. Success of three soil restoration techniques on seedling survival and growth of three plant species in the Sahel of Burkina Faso (West Africa). **Journal of Forestry Research**. 2016, 27, p.313–320. <https://doi.org/10.1007/s11676-015-0159-0>

Beck, H.; Zimmermann, N.; McVicar, T. R.; Vergopolan, N.; Berg, A.; Wood, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**. 2018, 5(1). <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

Belcore, E.; Piras, M.; Pezzoli, A. Land Cover Classification from Very High-Resolution UAS Data for Flood Risk Mapping. **Sensors**. 2022, 22 (15), 5622. <https://doi.org/10.3390/s22155622>

Bendig, J.; Yu, K.; Aasen, H.; Bolten, A.; Bennertz, S.; Broscheit, J.; Gnyp, M. L.; Bareth, G. Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**. 2015, 39, 79–87.

Benjaminsen, T.; Aune, J.; Sidibe, D. A critical political ecology of cotton and soil fertility in Mali. **Geoforum**. 2010, 41(4), 647-656 p. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2010.03.003>

Burdziakowski, P. UAV in today's photogrammetry - application areas and challenges. **18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2018**. 2018, 18(2.3). DOI:10.5593/sgem2018/2.3/S10.031

Butt, T. A.; McCarl, B. A.; Angerer, J.; Dyke, P. T.; Stuth, J. W. The economic and food security implications of climate change in Mali. **Climatic Change**. 2005, 68, 355–378. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-6014-0>

Calegario, A.; Pereira, L. F.; Pereira, S. B.; Silva, L. N. O; Araújo, U. L.; Fernandes Filho, E. I. Capacidade de uso e manejo da terra em zonas de recarga. **IV Simpósio Mineiro de Ciência do Solo**. 2017.

Calegario, A.; Pereira, L. F.; Pereira, S. B.; Silva, L. N. O; Araújo, U. L.; Fernandes Filho, E. I. Mapping and characterization of intensity in land use by pasture using remote sensing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2019, 23(5), 352-358. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n5p352-358>

Cândido, A. K. A. A.; Silva, N. M.; Filho, A. C. P. Imagens de Alta Resolução Espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no Planejamento do Uso e Ocupação do Solo. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**. 2015, 38(1), p. 147-156

Carmona, A.; Nahuelhual, L.; Echeverría, C.; Báez, A. Linking farming systems to landscape change: An empirical and spatially explicit study in southern Chile. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. 2010, 139(1-2), 40-50. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.06.015>

Chen, P.-C.; Chiang, Y.-C.; Weng, P.-Y. Imaging Using Unmanned Aerial Vehicles for Agriculture Land Use Classification. **Agriculture**. 2020, 10, 416. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090416>

Congedo, L. Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. **Journal of Open-Source Software**. 2021, 6(64), 3172. <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

Coulibaly, O. Mali - land, climate, energy, agriculture and development: A study in the Sudano-Sahel Initiative for regional development, jobs, and food security. **ZEF Working Paper Series**, No. 199, University of Bonn, Center for Development Research (ZEF), Bonn. 2021. <http://hdl.handle.net/10419/246468>

De Maria, I.C.; Bertol, I.; Drugowich, M.I. Práticas conservacionistas do solo e da água. In: Bertol, I.; De Maria, I.C.; Souza, L.S. (editores). **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2019. p.527 – 587.

Decagon Devices. **Mini disc infiltrometer**. Pullman: Decagon Devices, Inc. 2016. Disponível em: www.decagon.com.

Evans, I.S. An integrated system of terrain analysis and slope mapping. **Final report on grant DA-ERO-591-73-G0040**. University of Durham, England. 1979.

FAO E ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) - Main Report. **Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils**, Rome, Italy, 650p. 2015. <http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>.

FAO. A framework for land evaluation. **Food and agriculture organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils**. Rome, Italy. 100p., 1976.

FAO. Country Fact Sheet on Food and Agriculture Policy Trends. **Food and Agriculture Policy Decision Analysis**. 2017, 6 p. <https://www.fao.org/3/i7617e/i7617e.pdf>

Felgueiras, C.A.; Câmara, G. Modelagem Numérica do Terreno. In: Câmara G, Davis C, Monteiro AMV. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, SP: INPE. 2001.

Fonstad, M.A.; Dietrich, J.T.; Courville, B.C.; Jensen, J.L.; Carbonneau, P.E. Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement. **Earth Surf Process and Landforms**. 2013, 38, 421-430. <https://doi.org/10.1002/esp.3366>

Forkuor, G.; Hounkpatin, O.K.L.; Welp, G.; Thiel, M. High-resolution mapping of soil properties using Remote Sensing variables in south-western Burkina Faso: A comparison of machine learning and multiple linear regression models. **PLOS ONE**, 2017, 12(1), p. 1–21, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0170478>

França, G. V. A classificação de terras de acordo com sua capacidade de uso como base para um programa de conservação do solo. In: **Anais do 1º Congresso Nacional de Conservação do Solo**, 1960, Campinas. São Paulo: Secretaria da Agricultura, DEMA. 1963. p. 399-408

Friedrich, K. Multivariate distance methods for geomorphographic relief classification. In: Heinecke, H.; Eckelmann, W.; Thomasson, A.; Jones, J.; Montanarella, L.; Buckley, B. (eds.):

Land Information Systems - Developments for planning the sustainable use of land resources. European Soil Bureau - Research Report 4, EUR 17729 EN, Office for official publications of the European Communities, Ispra, pp. 259-266, online. 1998.

Fujihara, A. K. Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do Oeste Paulista com suporte de geoprocessamento. 2002. **Dissertação** (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

Gakou, M.; Force, J.E.; Mclaughlin, W.J. Non-timber forest products in rural Mali: a study of villager use. **Agroforestry Systems**. 1994, 28, p.213-226. <https://doi.org/10.1007/BF00704757>

Giannini, A.; Krishnamurthy, P. K.; Cousin, R.; Labidi, N.; Choularton, R. J. Climate risk and food security in Mali: A historical perspective on adaptation. **Earth's Future**. 2017, 5(2), 144–157. <https://doi.org/10.1002/2016EF000404>

Gil, H. A. P.; Pacheco, A. J. M. RGB Spectral Indices for the Analysis of Soil Protection by Vegetation Cover against Erosive Processes. In: **Soil Erosion**. Rijeka: IntechOpen. p.1-11, 2020. <https://doi.org/10.5772/intechopen.95055>

GRASS Development Team. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 8.2. **Open-Source Geospatial Foundation**. 2022. <https://grass.osgeo.org>

Guindo, M.; Traoré, B.; Birhanu, B.Z.; Coulibaly, A.; Tabo, R. Microdosing of Compost for Sustainable Production of Improved Sorghum in Southern Mali. **Agronomy**. 2022, 12, 1480. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061480>

Haula, K.; Agbozo, E. A systematic review on unmanned aerial vehicles in sub-saharan Africa: a socio-technical perspective. **Technology In Society**. 2020, 63. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101357>.

Herrick, J. E.; Neff, J.; Quandt, A.; Salley, S.; Maynard, J.; Ganguli, A.; Bestelmeyer, B. Prioritizing land for investments based on short- and long-term land potential and degradation risk: a strategic approach. **Environmental Science & Policy**. 2019, 96, 52-58. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.03.001>

Hudson, N. **Soil conservation**. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1971.

Ibáñez, J.J.; Gonzalez Rebolgar, J.L.; Garcia Alvarez, A.; Saldaña, A. Los geosistemas mediterráneos en el espacio y el tiempo. In: **La evolución del paisaje del mediterráneo en el espacio y en el tiempo**: Implicaciones en la desertificación. Geofoma Ediciones. ISBN:84-87779-30-1. 1997, p. 27-130.

Iizuka, K.; Itoh, M.; Shiodera, S.; Matsubara, T.; Dohar, M.; Watanabe, K. Advantages of unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry for landscape analysis compared with satellite data: A case study of postmining sites in Indonesia. **Cogent Geoscience**. 2018, 4 (1). <https://doi.org/10.1080/23312041.2018.1498180>

Ippolito, T.A.; Herrick, J.E.; Dossa, E.L.; Garba, M.; Ouattara, M.; Singh, U.; Stewart, Z.P.; Prasad, P.V.V.; Oumarou, I.A.; Neff, J.C. A Comparison of Approaches to Regional Land-Use Capability Analysis for Agricultural Land-Planning. **Land**. 2021, 10(5), 458. <https://doi.org/10.3390/land10050458>

IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources 2014, Update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. **World Soil Resources Report No. 106**. FAO, Rome, 2015.

James, M. R.; Robson, S. Straightforward reconstruction of 3D surfaces and topography with a camera: Accuracy and geoscience application. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**. 2012, 117 (F3). <https://doi.org/10.1029/2011JF002289>

Kalinganire, A.; Weber, J.C.; Uwamariya, A.; Kone, B. Improving Rural Livelihoods through Domestication of Indigenous Fruit Trees in the Parklands of the Sahel. In: Akinnifesi, F. K. et al. (Eds.). **Indigenous Fruit Trees in the Tropics: Domestication, Utilization and Commercialization**. p.186-203, 2007. <https://doi.org/10.1079/9781845931100.0186>

Kirkham, M.B. Principles of soil and plant water relations. **Elsevier Academic Press: Burlington, MA**. p.145-172. 2005.

Klingebiel, A. A., Montgomery, P. H. Land-capability classification. Washington: **Soil Conservation Service/U.S. Gov. Print Office**. 210p. 1961.

Kosmas, C.; Gerontidis, S.; Marathianou, M. The effect of land use change on soils and vegetation over various lithological formations on Lesbos (Greece). **CATENA**. 2000, 40(1), 51–68. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00064-8](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00064-8)

Kpadonou, R. A. B.; Owiyo, T.; Barbier, B.; Denton, F.; Rutabingwa, F.; Kiema, A. Advancing climate-smart-agriculture in developing drylands: Joint analysis of the adoption of multiple on-farm soil and water conservation technologies in West African Sahel. **Land Use Policy**. 2017, 61, p. 196-207. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.10.050>

Lahmar, R.; Bationo, B.; Dan Lamso, N.; Guero, Y.; Tittonell, P. Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: Building on traditional local practices for soil restoration. **Field Crops Research**, 158-167 p. 2012. doi:10.1016/j.fcr.2011.09.013

Lai, C.K.; Khan, A. **Mali as a case study of forest policy in the Sahel: institutional constraints on social forestry**. London: ODI/Social Forestry Network/Agricultural Administration Unit, p.1-21, 1986.

Lal, R.; Bouma, J.; Brevik, E.; Dawson, L.; Field, D. J.; Glaser, B.; Hatano, R.; Hartemink, A. E.; Kosaki, T.; Lascelles, B.; Monger, C.; Muggler, C.; Ndzana, G. M.; Norra, S.; Pan, X.; Paradelo, R.; Reyes-Sanchez, L. B.; Sandén, T.; Singh, B. R.; Zhang, J. Soils and sustainable development goals of the United Nations: An International Union of Soil Sciences perspective. **Geoderma Regional**. 2021, 25, e00398. doi:10.1016/j.geodrs.2021.e00398

Lepsch, I. F.; Espindola, C. R.; Vischi Filho, O. J.; Hernani, L. C.; Siqueira, D. S. **Manual para levantamento utilitário e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 1 ed. Viçosa: SBCS, 170p. 2015.

Liu, X.; Hu, G.; Chen, Y.; Li, X.; Xu, X.; Li, S.; Pei, F.; Wang, S. High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform. **Remote Sensing of Environment**. 2018, 209, 227–239. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.02.055>

Lu, B.; He, Y. Species classification using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)-acquired high spatial resolution imagery in a heterogeneous grassland. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**. 2017, 128, 73–85. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.03.011>

Maïga-Yaleu, S. B.; Chivenge, P.; Yacouba, H.; Guiguemde, I.; Karambiri, H.; Ribolzi, O.; Bary, A.; Chaplot, V. Impact of sheet erosion mechanisms on organic carbon losses from crusted soils in the Sahel. **CATENA**. 2015, 126, 60–67. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.11.001>

Malam-Issa, O.; Valentin, C.; Rajot, J. L.; Cerdan, O.; Desprats, J.-F.; Bouchet, T. Runoff generation fostered by physical and biological crusts in semi-arid sandy soils. **Geoderma**. 2011, 167-168, 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.09.013>

Mango, N.; Makate, C.; Tamene, L.; Mponela, P.; Ndengu, G. Awareness and adoption of land, soil and water conservation practices in the Chinyanja Triangle, Southern Africa. **International Soil and Water Conservation Research**. 2017, 5(2), p. 122-129, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.04.003>

Marques, J.J.G.S.M.; Curi, N.; Lima, J.M.; Ferreira, M.M.; Silva, M.L.N.; Ferreira, D.F. Estimativa da erodibilidade a partir de atributos de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. 1997, 21(3), 457-465. <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000300015>

McLean, E. O.; Heddleson, M. R.; Bartlett, R. J.; Holowaychuk, N. Aluminum in soils: I. Extraction methods and magnitudes in clays and ohio soils. **Soil Science Society of America Journal**. 1958, 22(5), p.382. <https://doi.org/10.2136/sssaj1958.03615995002200050005x>

Morgan, B.E.; Chipman, J.W.; Bolger, D.T.; Dietrich, J.T. Spatiotemporal Analysis of Vegetation Cover Change in a Large Ephemeral River: Multi-Sensor Fusion of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Landsat Imagery. **Remote Sensing**. 2021, 13(1), 51. <https://doi.org/10.3390/rs13010051>

Nord, A.; Snapp, S.; Traore, B. Current knowledge on practices targeting soil fertility and agricultural land rehabilitation in the Sahel: A review. **Agronomy for Sustainable Development**. 2022, 42, p.79. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00808-1>

Nyamekye, C.; Thiel, M.; Schönbrodt-Stitt, S.; Zoungrana, B-J. B.; Amekudzi, L. K. Soil and Water Conservation in Burkina Faso, West Africa. **Sustainability**. 2018, 10(9), 3182. <https://doi.org/10.3390/su10093182>

Peralta, P. M. **Guia para los reconocimientos de conservación y clasificación de la capacidad de la tierra**. Santiago, Chile: Min. Agricultura y Pesca, Dirección de Agricultura y Pesca. Dep. Conservación y Asistencia Técnica, 1963

Phinzi, K.; Ngetar, N. S. Mapping soil erosion in a quaternary catchment in Eastern Cape using geographic information system and remote sensing. **South African Journal of Geomatics**. 2017, 6(1), 11. <http://dx.doi.org/10.4314/sajg.v6i1.2>

Pieri, C. **Fertilité des terres de savanes**. Bilan de 30 ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. CIRAD/Ministère de la Coopération et du Développement, Paris. 1989, 444 p.

Pruski, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2 ed. Viçosa: UFV, 279p. 2009.

Ramalho-Filho, A.; Beek, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1995. 65 p.

Rist, S.; Chidambaranathan, M.; Escobar, C.; Wiesmann, U.; Zimmermann, A. Moving from sustainable management to sustainable governance of natural resources: The role of social learning processes in rural India, Bolivia and Mali. **Journal of Rural Studies**. 2007, 23(1), 23–37. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2006.02.006>

Robichaud, P.R.; Lewis, S.A; Ashmun, L.E. New procedure for sampling infiltration to assess post-fire soil water repellency. **Research Note 33**. Fort Collins: USDA Forest Service Research. 2008. 14p. <https://doi.org/10.2737/RMRS-RN-33>

Santos, R.D.; Lemos, R.C. Santos, H.G.; Ker, J.C.; Anjos, L.H.C.; Shimizu, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7.ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2015.

Santos, T. E. D.; Gomes, F. H.; Mancini, M.; Nóbrega, G. N.; Avanzi, J. C.; Marques, J. J.; Severino, V.; Inda, A. V.; Silva, M. L. N.; Curi, N. Detailed Characterization of Plinthic Soils in Southern Mali, Sub-Saharan Africa, as a Secure Basis for Specific Soil Management and Food Security. **CATENA**. 2023, 226. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107088>.

Sidibé, D. Mali Agricultural Pilot: Soil Baseline and Background Research. **Oxfam America Research Report**. 2013, 115p, 2013.

Silva, D.C. Evolução da Fotogrametria no Brasil. **Revista Brasileira de Geomática**. 2015, 3(2), p. 90-105. <https://doi.org/10.3895/rbgeo.v3n2.5467>

Silva, M.A.; Freitas, D.A.F.; Silva, M.L.N.; Oliveira, A.H.; Lima, G.C.; Curi, N. Sistema de informações geográficas no planejamento de uso do solo. Agrária - **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. 2013, 8(2), 316-323. <https://doi:10.5039/agraria.v8i2a2289>.

Silva, M.L.N.; Curi, N.; Ferreira, M.M.; Lima, J.M.; Ferreira, D.F. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 1999, 31(12), p. 2287-2298. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999001200016>

Sterk, G. Causes, consequences and control of wind erosion in Sahelian Africa: a review. **Land Degradation & Development**. 2003, 14(1), 95–108. <https://doi.org/10.1002/ldr.526>

Taveira, L. R. S.; Menezes, M. D.; Teixeira, A. F. S.; Curi, N. Mapping land use capability in tropical conditions adapting criteria to different levels of agricultural management. **Ciência e Agrotecnologia**. 2018, 42(6), 631-642. <https://doi.org/10.1590/1413-70542018426026518>

Taveira, L.R.S.; Weindorf, D.C.; de Menezes, M.D.; Carvalho, T.S. de; Motta, P.E.F. da; Teixeira, A.F. dos S.; Curi, N. Land use capability classification adaptation in low and intermediate technology farming systems: A soil erosion indicator. **Soil Use and Management**. 2019, p.1-17. <https://doi.org/10.1111/sum.12555>

Taye, G; Poesen, J.; Wesemael, B. V.; Vanmaercke, M.; Teka, D.; Deckers, J.; Goosse, T.; Maetens, W.; Nyssen, J.; Hallet, V.; Haregeweyn, N. Effects of land use, slope gradient, and

soil and water conservation structures on runoff and soil loss in semi-arid Northern Ethiopia. **Physics Geography**. 2013, 34, p. 236–259, 2013. <https://doi.org/10.1080/02723646.2013.832098>

Tefera, B.; Sterk, G. Land management, erosion problems and soil and water conservation in Fincha'a watershed, western Ethiopia. **Land Use Policy**. 2010, 27, p. 1027–1037. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.01.005>

Teixeira, P.C.; Donagema, G.K.; Fontana, A.; Teixeira, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3rd ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 2017.

Tommaselli, A. M. G. **Fotogrametria básica**. UNESP: Departamento de Cartografia, 2009 (Apostila).

Toure, A. A.; Rajot, J. L.; Garba, Z.; Marticorena, B.; Petit, C.; Sebag, D. Impact of very low crop residues cover on wind erosion in the Sahel. **CATENA**. 2011, 85(3), 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2011.01.002>

Traore, K.; Birhanu, Z. Soil erosion control and moisture conservation using contour ridge tillage in Bougouni and Koutiala, Southern Mali. **Journal of Environmental Protection**. 2019, 10(10), 1333–1360 p. [10.4236/jep.2019.1010079](https://doi.org/10.4236/jep.2019.1010079)

Travis, M.R.; Elsner, G.H.; Iverson, W.D.; Johnson, C.G. **VIEWIT**: computation of seen areas, slope, and aspect for land-use planning. USDA F.S. Gen. Tech. Rep. PSW-11/1975, 70p. Berkeley, California, U.S.A. 1975.

Valentin, C. Soil crusting and sealing in West Africa and possible approaches to improved management. In: **Soil tillage in Africa: needs and challenges**. FAO Soils Bulletin 69. 1993.

Valentin, C.; Bresson, L.M. Soil Crusting. In: Lal, R.; Blum, W.H.; Valentin, C.; Stewart, B.A. **Advances in Soil Science: Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p.89-107.

Varga, K.; Szabó, S.; Szabó, G.; Dévai, G.; Tóthmérész, B. Improved land cover mapping using aerial photographs and satellite images. **Open Geosciences**. 2014, 7(1), 20150002. <https://doi.org/10.1515/geo-2015-0002>

Virginia Department of Education. **Mali: Ancient crossroads of Africa**. Disponível em: <<https://www.doe.virginia.gov/teaching-learning-assessment/k-12-standards-instruction/history-and-social-science/instructional-resources/mali-ancient-crossroads-of-africa/geography>>. Acesso em: 09 de nov. de 2021

Walkley, A.; Black, I.A. An examination of the degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**. 1934, 37, p.29-38. <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

Weather Atlas. **Climate and monthly weather forecast: Sikasso, Mali**. Disponível em: <<https://www.weather-atlas.com/>>. Acesso em: 09 de nov. de 2021.

Wischmeier, W.H.; Smith, D.D. Predicting Rainfall Erosion Losses. A Guide to Conservation Planning. **The USDA Agricultural Handbook No. 537**, Maryland. 1978, 69 p.

Wolka, K.; Mulder, J.; Biazin, B. Effects of soil and water conservation techniques on crop yield, runoff and soil loss in Sub-Saharan Africa: A review. **Agricultural Water Management**. 2018, 207, p. 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.05.016>

World Meteorological Organization - WMO. **Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation**, WMO-No. 8 (7^o ed.). WMO, Switzerland. 2008, 681 p.

Xu, X.; Liu, L.; Han, P.; Gong, X.; Zhang, Q. Accuracy of Vegetation Indices in Assessing Different Grades of Grassland Desertification from UAV. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 2022, 19. <https://doi.org/10.3390/ijerph192416793>

Young, A. **Tropical soils and soil survey**. Cambridge, Cambridge University Press, 468p. 1976.

Zhang, C.; Zhang, L.; Zhang, B. Y. J.; Sun, J.; Dong, S.; Wang, X.; Li, Y.; Xu, J.; Chu, W.; Dong, Y.; Wang, P. Land cover classification in a mixed forest-grassland ecosystem using LResU-net and UAV imagery. **Journal of Forestry Research**. 2022, 33, 923–936. <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01375-z>

Zhang, W.; Ricketts, T. H.; Kremen, C.; Carney, K.; Swinton, S. M. Ecosystem services and disservices to agriculture. **Ecological Economics**. 2007, 4(2), p. 253-260. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.02.024.

Zougmore, R.; Mando, A.; Stroosnijder, L. Soil Nutrient and Sediment Loss as Affected by Erosion Barriers and Nutrient Source in Semi-Arid Burkina Faso. **Arid Land Research and Management**. 2009, 2(1), p. 85-101, 2009. <https://doi.org/10.1080/15324980802599142>

Zougmore, R.; Zida, Z.; Kambou, N.F. Role of nutrient amendments in the success of half-moon, soil and water conservation practice in semiarid Burkina Faso. **Soil Tillage Research**. 2003, 71, p.143–149. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00050-3](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00050-3)

APÊNDICE A: DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS DOS PERFIS DE SOLO DA ALDEIA SIANI, MALI.

Siani: Perfil 01

Número de campo – Perfil 01

Data: 17/07/19

Classificação – Plintossolo Argilúvico Eutrófico petroplúntico, textura média

Coordenadas 11°40'51.83"N e 5°45'51.16"O

Localização – Siani, região de Sikasso (Mali).

Situação – Topo plano de colina baixa.

Altitude – 360m.

Formação Geológica – Cobertura sedimentar

Material Originário – Arenitos com possível contribuição de material cristalino meso a melanocrático.

Pedregosidade – Ligeiramente pedregosa.

Rochosidade – Não rochosa.

Relevo Local – Plano.

Relevo Regional – Plano.

Erosão – Laminar ligeira.

Drenagem – Bem drenado.

Vegetação Primária – Savana arbórea.

Uso Atual – Lavoura de milho.

Clima – Aw, segundo a classificação de Köppen.

Descrito e Coletado por: F.H. Gomes, J.J.S.M. Marques e J.C. Avanzi.

Descrição Morfológica

Ap – 0 - 0,10 m, bruno (7,5YR 5/4); francoarenosa; fraca pequena blocos angulares; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.

BAf – 0,10 - 0,25 m, vermelho-amarelado (5YR 4/6); franca; moderada média blocos angulares; duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.

Btc – 0,25 - 0,65 m, vermelho (2,5YR 5/6); argila; moderada grande blocos angulares; muito duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.

Cf – 0,65 - 1,50 m +, vermelho-escuro (2,5YR 3/6); argila; maciça; muito duro, muito firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.

Raízes – Raras em todos os horizontes.

Observações – Presença de plintita e mosqueados em cerca de 30% do horizonte BAF; Horizontes Btc e Cf possuem cor variegada bruno-acinzentado-escuro (2,5Y 4/2) na proporção de quase 50%, se estendendo em profundidade.

Análises físico-químicas Perfil 01-Siani

Hor.	Prof. (cm)	Granulometria			Relação textural		pH			M.O. dag kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	P-rem mg L ⁻¹
		Argila	Silte	Areia	Silte/ argila	Gradiente Textural	KCl	H ₂ O	Δ			
Ap	0-10	10	29	61	3,1		5,8	6,3	-0,5	1,31	12,56	45,8
BA	10-25	24	30	46	1,3		4,9	5,6	-0,7	0,66	0,89	34,9
Btc	25-65	36	27	37	0,7	3,16	5,1	5,4	-0,3	0,48	0,16	12,8
Cf	65-150 ⁺	33	30	37	0,9		5,0	5,3	-0,3	0,11	0,15	11,0

Hor.	Prof. (cm)	Cátions trocáveis								Saturação		
		Ca	Mg	K	Na	Al	H	SB	T	Targ	V	m
Ap	0-10	3,42	1,10	0,69	0,10	0,10	1,80	5,31	7,21	75,94	73,7	1,9
BA	10-25	2,57	0,99	0,49	0,10	0,10	2,00	4,15	6,25	26,04	66,4	2,4
Btc	25-65	2,56	1,92	0,17	0,10	0,10	2,60	4,75	7,45	20,71	63,8	2,1
Cf	65-150 ⁺	2,46	1,53	0,23	0,10	0,10	2,20	4,32	6,62	20,38	65,27	2,3



Perfil 01-Siani

Siani: Perfil 02

Número de campo – Perfil 02

Data: 18/07/19

Classificação – Plintossolo Pétrico Litoplântico êndico, textura média, êutrico, argissólico

Coordenadas – 11°40'20.21"N e 5°44'25.52"O

Localização – Siani, região de Sikasso (Mali).

Situação – Área central de amplo vale.

Altitude – 344m.

Formação Geológica – Cobertura sedimentar

Material Originário – Arenitos com possível contribuição de material cristalino meso a melanocrático.

Pedregosidade – Moderadamente pedregosa.

Rochosidade – Não rochosa.

Relevo Local – Plano.

Relevo Regional – Plano.

Erosão – Laminar ligeira.

Drenagem – Bem drenado.

Vegetação Primária – Savana arbórea.

Uso Atual – Lavoura de algodão.

Clima – Aw, segundo a classificação de Köppen.

Descrito e Coletado por: F.H. Gomes, J.J.S.M. Marques, J.C. Avanzi e Y. Kane.

Descrição Morfológica

Ap_c – 0 - 0,23 m, bruno (10YR 4/3); franca; moderada pequena blocos angulares; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

Bt_{cf} – 0,23 - 0,60 m, bruno-escuro (10YR 3/3); mosqueado vermelho (2,5YR 5/8); argila; fraca pequena granular; solta, plástico e pegajoso; transição plana e gradual.

Cc – 0,60 - 0,85 m, cinzento-escuro (10YR 4/1); fraca pequena granular; solta, plástico e pegajoso; transição ondulada e gradual.

F – 0,85 - 1,55 m +.

Raízes – Comuns no horizonte Ap; Poucas nos horizontes B_{cf}, Cc e F.

Observações – Presença de petroplintita ocupando menos de 10% do horizonte Ap; O horizonte B_{tcf} possui nódulos efervescentes de Mn que se estendem em profundidade e plintita ocupando cerca de 80% do horizonte; Presença de pontuações vermelhas e pretas no horizontes Cc; O horizonte F apresenta aparente degradação devido a formação de solo sobre ele, a umidade acumulada reduz ou quebra a plintita; O horizonte Cc₂ não foi amostrado.

Análises físico-químicas Perfil 02-Siani

Hor.	Prof. (cm)	Granulometria			Relação textural		pH			M.O. dag kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	P-rem mg L ⁻¹
		Argila	Silte	Areia	Silte/ argila	Gradiente Textural	KCl	H ₂ O	Δ			
Apc	0-23	14	43	43	3,2		5,6	5,8	-0,2	1,36	9,48	38,9
Btcf	23-60	32	36	32	1,1	2,41	4,9	5,5	-0,6	0,46	0,15	18,9
Cc	60-85	26	34	40	1,3		5,3	5,8	-0,5	0,20	0,20	24,3
F	85-155 ⁺	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-

Hor.	Prof. (cm)	Cátions trocáveis								Targ cmolc kg ⁻¹ arg ⁻¹	Saturação	
		Ca	Mg	K	Na	Al	H	SB	T		V ----- % -----	m
Apc	0-23	5,44	1,48	0,30	0,12	0,10	1,70	7,34	9,14	67,66	80,3	1,4
Btcf	23-60	4,06	1,81	0,12	0,11	0,10	2,30	6,10	8,50	26,14	71,8	1,6
Cc	60-85	3,96	2,15	0,10	0,11	0,10	1,60	6,32	8,02	30,83	78,8	1,6
F	85-155 ⁺	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Perfil 02-Siani

Siani: Perfil 03

Número de campo – Perfil 03

Data: 18/07/19.

Classificação – Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico petroplúntico, textura média/argilosa, endosaprolítico

Coordenadas – 11°39'15.39"N e 5°46'6.38"O

Localização – Siani, região de Sikasso (Mali).

Situação – Terço superior de suave encosta.

Altitude – 377m

Formação Geológica – Cobertura sedimentar

Material Originário – Arenitos com possível contribuição de material cristalino meso a melanocrático.

Pedregosidade – Ligeiramente pedregosa.

Rochosidade – Ligeiramente rochosa.

Relevo Local – Suave ondulado.

Relevo Regional – Plano.

Erosão – Laminar moderada.

Drenagem – Bem drenado.

Vegetação Primária – Savana arbórea.

Uso Atual – Lavoura de milho.

Clima – Aw, segundo a classificação de Köppen.

Descrito e Coletado por: F.H. Gomes, J.J.S.M. Marques, J.C. Avanzi e Y. Kane.

Descrição Morfológica

Ap_c – 0 - 0,20 m, bruno-avermelhado-escuro (5YR 3/2); francoarenosa; moderada pequena granular; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

Bt – 0,20 - 0,35 m, vermelho-amarelado (5YR 4/6); francoargilosa; moderada média blocos angulares; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

Cr – 0,35 - 0,45 m, vermelho-amarelado (5YR 5/6); franca; fraca média blocos subangulares; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara.

Raízes – Poucas nos horizontes Ap e Bi; Raras no horizonte CR.

Observações – Material de origem bastante intemperizado, porém ainda consolidado. O material de origem é arenoso, ao contrário do solo que possui um certo nível de argila, possível descontinuidade litológica; Presença de petroplintita ocupando cerca de 15% do horizonte Ap.

Análises físico-químicas Perfil 03-Siani

Hor.	Prof. (cm)	Granulometria			Relação textural		pH			M.O. dag kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	P-rem mg L ⁻¹
		Argila	Silte	Areia	Silte/ argila	Gradiente Textural	KCl	H ₂ O	Δ			
Apc	0-20	12	29	59	2,4		4,9	5,5	-0,6	1,15	36,08	41,90
Bt	20-35	43	27	30	0,6	3,58	4,1	4,9	-0,8	0,40	0,15	14,70
Cr	35-45	43	24	33	0,6		4,1	5	-0,9	0,40	0,02	11,00

Hor.	Prof. (cm)	Cátions trocáveis								Targ cmolc kg ⁻¹ arg ⁻¹	Saturação	
		Ca	Mg	K	Na	Al	H	SB	T		V	m
Apc	0-20	3,00	0,74	0,29	0,10	0,10	2,70	4,13	6,93	57,78	59,6	2,4
Bt	20-35	1,75	1,43	0,14	0,10	0,20	3,60	3,42	7,22	16,79	47,4	5,7
Cr	35-45	1,05	0,92	0,12	0,10	0,80	4,30	2,19	7,29	17,16	30,1	27,7



Perfil 03-Siani

Siani: Perfil 04

Número de campo – Perfil 04

Data: 18/07/19.

Classificação – Cambissolo Háptico Ta Eutrófico argissólico, textura média/ argilosa

Coordenadas – 11°38'4.82"N e 5°45'10.31"O

Localização – Siani, região de Sikasso (Mali).

Situação – Fundo de vale estreito.

Altitude – 385m.

Formação Geológica – Cobertura sedimentar

Material Originário – Material coluvionar e arenitos com possível contribuição de material cristalino meso a melanocrático.

Pedregosidade – Não pedregosa.

Rochosidade – Não rochosa.

Relevo Local – Plano.

Relevo Regional – Plano.

Erosão – Laminar moderada.

Drenagem – Moderadamente drenado.

Vegetação Primária – Savana arbórea.

Uso Atual – Lavoura de algodão.

Clima – Aw, segundo a classificação de Köppen.

Descrito e Coletado por: F.H. Gomes, J.J.S.M. Marques, J.C. Avanzi e Y. Kane.

Descrição Morfológica

Ap – 0 - 0,17 m, bruno-escuro (7,5YR 3/3); francoarenosa; fraca pequena blocos angulares; muito friável, não plástico e não pegajoso; transição plana e gradual.

AB – 0,17 - 0,36 m, bruno (7,5YR 4/3); franca; moderada pequena blocos angulares; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.

Bif – 0,36 - 0,58 m, bruno-amarelado (10YR 5/4); mosqueados 5YR 4/3 ; francoargilosa; moderada média blocos angulares; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

BCf – 0,58 - 1,06 m, cinzento (10YR 5/1); argila; fraca pequena blocos angulares; muito friável, plástico e pegajoso; transição plana.

Cfg – 1,06 - 1,40 m +, cinzento (10YR 6/1); argila; fraca média blocos angulares; plástico e pegajoso; transição plana.

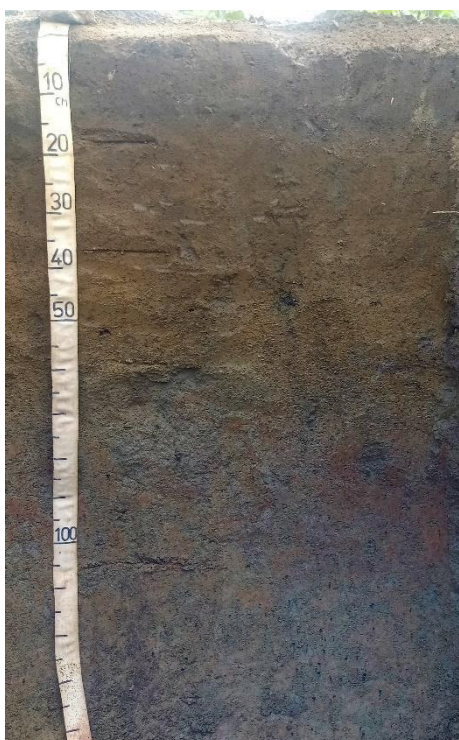
Raízes – Poucas no horizonte Ap; Raras nos horizontes AB, Bit e Bcf.

Observações – Presença de mosqueado 5YR ocupando cerca de 10% do horizonte Bif, porém com muito pouca plintita; o horizonte BCf possui cor variegada e presença de plintita ocupando cerca de 5% do horizonte, sendo esta semelhante a “chumbinho de caça”; Presença de plintita e concreções de Mn que ocupam cerca de 5% do horizonte Cfg.

Análises físico-químicas Perfil 04-Siani

Hor.	Prof. (cm)	Granulometria			Relação textural		pH			M.O. dag kg ⁻¹	P mg dm ⁻³	P-rem mg L ⁻¹
		Argila	Silte	Areia	Silte/ argila	Gradiente Textural	KCl	H ₂ O	Δ			
Ap	0-17	13	21	66	1,6		5,3	6,6	-1,3	1,01	10,82	41,1
AB	17-36	23	24	53	1,0		5,2	6,0	-0,8	0,79	1,87	23,4
Bif	36-58	30	24	46	0,8	1,67	5,3	6,0	-0,7	0,29	0,40	16,0
BCf	58-106	38	25	37	0,7		5,3	5,8	-0,5	0,13	0,30	13,9
Cfg	106-140 ⁺	37	26	37	0,7		5,5	6,2	-0,7	0,11	0,30	15,0

Hor.	Prof. (cm)	Cátions trocáveis								Targ cmolc kg ⁻¹ arg ⁻¹	Saturação	
		Ca	Mg	K	Na	Al	H	SB	T		V	m
Ap	0-17	5,11	1,86	0,68	0,12	0,10	1,70	7,77	9,57	73,66	81,2	1,3
AB	17-36	5,63	2,76	0,18	0,12	0,20	1,80	8,69	10,69	45,50	81,3	2,3
Bif	36-58	5,59	3,61	0,16	0,11	0,10	2,00	9,47	11,57	38,56	81,9	1,1
BCf	58-106	5,89	4,51	0,22	0,12	0,10	1,80	10,74	12,64	33,71	85,0	0,9
Cfg	106-140 ⁺	6,87	5,54	0,26	0,15	0,10	1,60	12,82	14,52	39,78	88,3	0,8



Perfil 04-Siani

APÊNDICE B: DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS, FÍSICAS E QUÍMICAS DOS PERFIS DE SOLO DA ALDEIA BANDIAGARA II, MALI.

Bandiagara II: Perfil 01

Número de campo – Perfil 01 - Data 12/07/19.

Classificação – Plintossolo Pétrico Litoplântico êndico, textura média/argilosa, epieutrófico

Unidade de mapeamento – FFf1 (inclusão na U.M. – no limite dos 40 cm e na textura do hor.Bc)

Coordenadas – 12°11'1.18"N e 5°35'28.70"O.

Localização – Aldeia de Bandjagara II, região de Mopt (Mali).

Situação – relevo plano, trincheira sob vegetação antropizada da Savana.

Altitude – 332 m.

Formação Geológica – Sedimentos do terciário(?).

Material Originário – Arenito.

Pedregosidade – ligeiramente pedregosa.

Rochosidade – não rochosa.

Relevo Local – Plano.

Relevo Regional – Plano.

Erosão – Laminar forte.

Drenagem – Moderadamente drenado.

Vegetação Primária – Savana.

Uso Atual – Savana com influência antrópica (retirada de lenha, cultivo intermitente, ...)

Clima – Bsh, segundo a classificação de Köppen

Descrito e Coletado por: F. H. Gomes, J. C. Avanzi e J.J.S.M. Marques

Descrição Morfológica

A – 0 - 0,15 m, bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2, seco) e cinzento-brunado-claro (10YR 6/2, úmido); mosqueado pouco pequeno (0,5 mm) e distinto vermelho (2,5YR 4/8); franco-argilossiltosa; grão simples a fraca pequena granular; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.

AB – 0,15 - 0,31 m, bruno (10YR 5/3, seco) e cinzento-claro (10YR 7/2, úmido); mosqueado pouco pequeno (0,5 mm) e distinto vermelho (2,5YR 4/8); franco-argilossiltosa; moderada pequena blocos angulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

Bc – 0,31 - 0,42 m, bruno (7,5YR 5/2); franco-argilossiltosa; moderada pequena granular; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e abrupta.

F – 0,42 - 0,60 m +.

Raízes – Comuns no horizonte A; Poucas no horizonte AB; Raras no horizonte Bc.

Observações – Presença de poros comuns no horizonte A.

Bandiagara II: Perfil 03

Número de campo – Perfil 03 - Data 12/07/19.

Classificação – Plintossolo Pétrico Litoplúntico típico, textura média, distrófico

Unidade de mapeamento – FFlf1

Coordenadas - 12° 9'44.48"N e 5°34'6.58"O

Localização – Bandjagara II, região de Mopt (Mali).

Situação – Baixada em meio a área plana.

Altitude – 331 m.

Formação Geológica – Sedimentos do terciário

Material Originário – Arenito.

Pedregosidade – Pedregosa.

Rochosidade – Ligeiramente rochosa.

Relevo Local – Plano.

Relevo Regional – Plano.

Erosão – Laminar moderada.

Drenagem – moderadamente drenado.

Vegetação Primária – Savana.

Uso Atual – Lavoura de arroz.

Clima – Bsh, segundo a classificação de Köppen.

Descrito e Coletado por: F. H. Gomes, J. C. Avanzi e J.J.S.M. Marques.

Descrição Morfológica

Apf – 0 - 0,15 m, bruno (7,5YR 5/2); francossiltoza; moderada pequena blocos angulares; muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

Bc – 0,15 - 0,23 m, bruno (7,5YR 5/2); franca cascalhenta (70%); moderada pequena blocos subangulares; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e clara.

F – 0,23 - 0,30 m +.

Raízes – Comuns no horizonte Apf; Poucas no horizonte Bc; Raras no horizonte F.

Observações – O horizonte Apf aparenta indícios de pedoturbações; O horizonte F não foi amostrado.

Bandiagara II: Perfil 04

Número de campo – Perfil 04

Data: 12/07/19.

Classificação – Plintossolo Argilúvico Distrófico típico, textura argilosa, epieutrófico

Unidade de mapeamento – FTd1

Coordenadas – 12°9'34.96"N e 5°34'16.94"O

Localização – Bandjagara II, região de Mopt (Mali).

Situação – Larga baixada plana.

Altitude – 327 m.

Formação Geológica – Sedimentos do terciário.

Material Originário – Arenito com provável contribuição de materiais clásticos mais finos

Pedregosidade – Não pedregosa.

Rochosidade – Não rochosa.

Relevo Local – Plano.

Relevo Regional – Plano.

Erosão – Laminar forte.

Drenagem – Imperfeitamente drenado.

Vegetação Primária – Savana.

Uso Atual – Pastagem nativa.

Clima – Bsh, segundo a classificação de Köppen.

Descrito e Coletado por: F. H. Gomes, J. C. Avanzi e J.J.S.M. Marques.

Descrição Morfológica

Ap – 0 - 0,20 m, bruno (7,5YR 4/4); argilossiltosa; moderada pequena e média blocos angulares; duro, friável, plástico e pegajoso; transição plana e clara.

Btf – 0,20 - 0,54 m, bruno-forte (7,5YR 4/6); francossiltosa; moderada grande blocos angulares; duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.

Bf 1 – 0,54 - 1,08 m, bruno-amarelado (10YR 5/6); francossiltosa; fraca a moderada média blocos angulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição plana e gradual.

Bf2 – 1,08 - 1,65 m, bruno-amarelado-claro (10YR 6/4); mosqueado vermelho (2,5YR 4/8); moderada pequena e média blocos angulares; ligeiramente duro; transição plana e clara.

Bc – 1,65 - 1,75 m +

Raízes – Poucas no horizonte Ap; Raras nos horizontes Btf, Bf1, Bf2 e Bc

Observações: ausência de plintita no horizonte Ap; Presença de plintita ocupando cerca de 15% do horizonte B; Presença de plintita de cerca de 1 cm ocupando aproximadamente 30% do horizonte Bf e mais de 50% do horizonte Bf2; O horizonte Bc não foi amostrado.

**APÊNDICE C: ANÁLISES DE FERTILIDADE DO SOLO DAS ALDEIAS SIANI E
BANDIAGARA II, MALI.**

Tabela C-1 - Resultados da análise de fertilidade do solo da aldeia Siani, Mali.

Amostra	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
		----- mg dm ⁻³ -----			----- cmolc dm ⁻³ -----				mg L ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----					
22	5,3	136,25	8,02	24	2,65	1,33	0,1	2,9	26,7	0,8	19,3	78,5	0,77	0,06	11,8
23	5	110,47	4,79	23	2,1	0,95	0	3,6	31,2	0,4	22,3	60,2	0,51	0,06	11
24	5,5	133,27	3,08	22	1,81	0,65	0	2,2	44,8	0,4	26,8	83,5	0,5	0,09	10,1
25	5,3	118,84	2,6	23	2,21	0,91	0	2,7	37,1	27,7	39,7	51,9	0,49	0,1	5,3
26	5,3	123,86	1,4	22	1,92	0,74	0	3	36,1	0,5	27,2	77,5	0,35	0,13	7,6
27	6	144,35	3,82	26	6,8	2,18	0,1	2,6	33,4	1,1	23,7	63	3,29	0,13	11,9
28	6,5	153,48	4,24	29	9,35	3,7	0,2	2,7	29	0,9	19,5	70,2	3,07	0,12	9,7
29	5,9	162,95	7,31	25	6,41	1,92	0,1	2,5	35,5	1,3	16,5	121,3	1,04	0,05	4,7
30	5,7	92,09	4,52	23	4,11	1,22	0,1	2,7	35,7	0,3	20,5	53,1	0,68	0,27	3
31	5,3	102,02	3,41	25	3,24	1,28	0,1	2,7	39,9	0,7	32,8	95	0,76	0,09	8
32	5,3	101,85	3,55	23	2,8	1,02	0,2	2,3	40,6	0,3	25,6	66,2	0,32	0,04	2,4
33	5,6	97,86	3,46	21	1,64	0,44	0	1,6	44,2	0,5	27,2	32	0,46	0,04	3,8
34	6	106,07	12,79	22	2,17	0,57	0	1,3	44,3	1,8	45,9	39	0,61	0,07	4,4
35	6,3	154,48	8,96	24	3,67	1,21	0,1	1,4	43,2	1,1	29,6	77,8	1,6	0,12	4,2
36	5,8	78,86	5,03	21	2,19	0,63	0	1,9	45,2	0,6	26,9	53	0,54	0,09	4,2
37	6,3	63,01	3,36	21	1,93	0,47	0	1,8	45,6	1,3	24,4	55,3	0,33	0,05	6,2
38	6,3	112,31	3,54	21	1,92	0,53	0	2,1	50	0,9	20,9	84,5	0,34	0,09	2,6
39	6,2	159,62	8,19	23	3,38	1,1	0,1	1,2	46,9	0,9	19	92,3	0,48	0,12	8,2
40	5,4	67,96	1,66	22	1,7	0,66	0,1	3,8	27,8	2,2	25,5	34,1	1,28	0,13	2,8
41	5,4	83,85	1,83	22	1,45	0,67	0	2,3	40,7	0,3	25,1	59,7	0,36	0,04	7,2

Tabela C-2 - Resultados da análise de fertilidade do solo da aldeia Siani, Mali.

Amostra	SB	t	T	V	m	MOS
	cmolc dm ⁻³			%		
22	4,33	4,43	7,23	59,88	2,26	0,94
23	3,33	3,33	6,93	48,1	0	0,68
24	2,8	2,8	5	56,03	0	0,76
25	3,42	3,42	6,12	55,96	0	0,8
26	2,98	2,98	5,98	49,79	0	0,76
27	9,35	9,45	11,95	78,24	1,06	1,63
28	13,44	13,64	16,14	83,29	1,47	1,66
29	8,75	8,85	11,25	77,76	1,13	2,64
30	5,57	5,67	8,27	67,31	1,76	0,79
31	4,78	4,88	7,48	63,92	2,05	0,83
32	4,08	4,28	6,38	63,97	4,67	0,93
33	2,33	2,33	3,93	59,31	0	0,53
34	3,01	3,01	4,31	69,88	0	0,7
35	5,28	5,38	6,68	78,98	1,86	1,08
36	3,02	3,02	4,92	61,43	0	0,69
37	2,56	2,56	4,36	58,75	0	0,63
38	2,74	2,74	4,84	56,57	0	0,66
39	4,89	4,99	6,09	80,28	2	1,09
40	2,53	2,63	6,33	40,04	3,8	0,99
41	2,33	2,33	4,63	50,43	0	0,65

Tabela C-3 - Resultados da análise de fertilidade do solo da aldeia Bandiagara II, Mali.

Amostra	pH	K	P	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	P-Rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
		mg dm ⁻³			cmolc dm ⁻³				mg L ⁻¹	mg dm ⁻³					
1	5	130,88	2,7	23	2,27	1,21	0,1	4,1	30,2	3,6	55,6	52,2	3,41	0,02	14
2	4,8	46,1	0,11	23	2,23	1,23	0,5	4,3	21,5	2,3	32,9	31,5	3,02	0,13	5,9
3	4,7	55,28	0,93	23	1,81	1,02	0,8	5,6	21	25	42,6	29,1	2,82	0,16	11,5
4	5	83,22	0,37	23	1,86	0,95	0,3	4,1	29	3,3	21,8	36,9	3,06	0,07	4,5
5	4,8	47,57	0,28	24	1,83	0,62	0,9	6,4	23,5	2	28,2	31,5	2,36	0,08	4,7
6	5,2	102,58	4,75	24	2,74	1,27	0,3	4,1	24,3	2,6	53,8	66,6	3,56	0,11	8,9
7	5,5	62,67	0,12	25	2,8	1,47	0,5	4,6	16,1	1,6	28,8	61,1	2,52	0,06	9,3
8	6	213,22	2,79	28	2,81	1,01	0,2	3,7	24	2,9	47,7	47,9	2,73	0,04	5
9	5,1	46,89	0,75	26	1,85	0,75	0,5	3,7	25,8	2,2	39,5	45,9	2,68	0,04	10,4
10	5,2	89,97	3,36	25	1,84	0,73	0,5	4,4	22,3	3,3	28,4	39	3,48	0,13	10,5
11	5	66,98	1,55	28	1,51	0,39	0,6	4,8	23,6	4,2	114,8	20,8	5,16	0,07	4,8
12	4,9	71,1	0,95	25	1,96	0,85	0,4	4,6	21,9	2,2	32,1	43	2,51	0,05	8,6
13	4,6	54,76	0,5	27	1,35	0,49	1,2	6	25,3	3,2	99,9	22,1	4,21	0,03	6,8
14	4,7	68,91	0,84	25	1,48	0,73	1,5	7,8	16,6	3	41,2	25,3	3,75	0,02	7,5
15	5	44,12	0,15	24	2,04	0,66	0,5	4,9	18,2	1,8	28	31,2	2,38	0,02	3,6
16	5,4	72,99	0,26	24	1,83	0,7	0,2	3,2	27,6	1,8	37,3	41	2,16	0,1	4,1
17	5,8	100,94	0,67	25	2,2	0,99	0,1	3,9	22,2	2,3	28,4	48,5	2,36	0,1	4,5
18	5,9	76,85	2,61	28	3,29	1,33	0,1	3,5	29,4	2,9	24,6	58,1	2,46	0,09	4,2
19	5,2	78,02	1,46	23	1,97	1,01	0,2	4,2	27,5	6,8	24,7	44,9	7,01	0,1	11,2
20	5	49,67	0,55	24	1,44	0,66	1,7	7	12,6	1,4	25,2	18,9	1,69	0,04	6,2
21	5	143,34	2,12	24	2,36	1,2	0,2	3,9	28,4	3,7	45,9	42,2	3,36	0,03	12,4

Tabela C-4 - Resultados da análise de fertilidade do solo da aldeia Bandiagara II, Mali.

Amostra	SB	t	T	V	m	MOS
	cmolc dm ⁻³				%	
1	3,82	3,92	7,92	48,18	2,55	0,82
2	3,58	4,08	7,88	45,41	12,25	0,65
3	2,97	3,77	8,57	34,68	21,22	0,66
4	3,02	3,32	7,12	42,46	9,04	0,76
5	2,57	3,47	8,97	28,67	25,94	0,8
6	4,27	4,57	8,37	51,05	6,56	0,82
7	4,43	4,93	9,03	49,07	10,14	0,78
8	4,37	4,57	8,07	54,11	4,38	1,15
9	2,72	3,22	6,42	42,37	15,53	1,04
10	2,8	3,3	7,2	38,9	15,15	0,82
11	2,07	2,67	6,87	30,16	22,47	0,82
12	2,99	3,39	7,59	39,42	11,8	0,98
13	1,98	3,18	7,98	24,82	37,74	0,52
14	2,39	3,89	10,19	23,42	38,56	0,93
15	2,81	3,31	7,71	36,49	15,11	0,67
16	2,72	2,92	5,92	45,9	6,85	0,6
17	3,45	3,55	7,35	46,92	2,82	1,34
18	4,82	4,92	8,32	57,9	2,03	1,63
19	3,18	3,38	7,38	43,09	5,92	2,02
20	2,23	3,93	9,23	24,13	43,26	0,98
21	3,93	4,13	7,83	50,16	4,84	0,73

**APÊNDICE D: CÁLCULO DE PERMEABILIDADE DO SOLO À ÁGUA PARA AS
ALDEIAS DE SIANI E BANDIAGARA II, MALI.**

Siani								
Perfil	Textura	R1	R2	R3	Média (mm h⁻¹)	Desvio (cm s⁻¹)	Desvio (mm h⁻¹)	Classificação
1	franco arenosa	4,365	5,441	3,516	4,440	1,23E-04	0,67	lenta
2	franca	1,386	5,013	1,591	2,663	7,40E-05	1,57	lenta
3	franco arenosa	2,308	3,634	4,814	3,585	9,96E-05	0,85	lenta
4	franco arenosa	3,468	3,108	12,935	6,504	1,81E-04	4,29	moderada
Bandiagara II								
Perfil	Textura	R1	R2	R3	Média (mm h⁻¹)	Desvio (cm s⁻¹)	Desvio (mm h⁻¹)	Classificação
1	franca	2,531	9,721	3,925	6,126	1,70E-04	2,89	moderada
3	franca	2,494	2,422	2,446	2,458	6,83E-05	0,03	lenta
4	argilosa	5,026	20,398	2,245	12,712	3,53E-04	7,45	moderada