

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE DOUTORADO**

**ESTRATÉGIAS PARA RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS NO
RECÔNCAVO DA BAHIA**

Raissa Homem Gonçalves

**CRUZ DAS ALMAS - BAHIA
MAIO – 2025**

ESTRATÉGIAS PARA RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS NO RECÔNCAVO DA BAHIA

Raissa Homem Gonçalves
Mestre em Solos e Qualidade de Ecossistemas, UFRB, 2021

Tese apresentada ao Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Título de Doutor (a) em Ciências Agrárias (Área de Concentração: Agricultura Tropical).

Orientador: Dr. Ossival Lolato Ribeiro

**CRUZ DAS ALMAS – BAHIA
MAIO – 2025**

FICHA CATALOGRÁFICA

G635e

Gonçalves, Raissa Homem.

Estratégias para recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia / Raissa Homem Gonçalves._ Cruz das Almas, BA, 2025.

127f.: il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas, Doutorado em Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Dr. Ossival Lolato Ribeiro.

1.Pastagens – Recuperação de terra. 2.Solo – Desenvolvimento rural. 3.Recôncavo (BA) – Análise. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 633.202

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE DOUTORADO**


**ESTRATÉGIAS PARA RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS
NO RECÔNCAVO DA BAHIA**

Comissão Examinadora da Defesa de Tese da


MSc. Raissa Homem Gonçalves

Aprovada em 30 de maio de 2025


Dr. Ossival Lolato Ribeiro
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **OSSIVAL LOLATO RIBEIRO**
Data: 25/09/2025 06:21:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dr. Júlio César Azevedo Nóbrega
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
(Examinador Interno)

Documento assinado digitalmente
 **JULIO CESAR AZEVEDO NOBREGA**
Data: 10/09/2025 18:50:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Dr. José Fernandes de Melo Filho
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB
(Examinador Externo)

Documento assinado digitalmente
 **JOSE FERNANDES DE MELO FILHO**
Data: 10/09/2025 17:41:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Alexandre Fernandes Perazzo
Universidade Federal do Piauí – UFPI
(Examinador Externo)

Documento assinado digitalmente
 **ALEXANDRE FERNANDES PERAZZO**
Data: 15/09/2025 13:51:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Maurício da Silva Amorim
Instituto Federal do Pará – IFPA
(Examinador Externo)

Documento assinado digitalmente
 **MAURICIO DA SILVA AMORIM**
Data: 18/09/2025 08:00:34-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Doze anos separam a jovem que saiu do interior de Minas Gerais e chegou ao Recôncavo da Bahia para iniciar a graduação, da profissional de hoje. Sonhos que antes pareciam inimagináveis de alcançar, agora se tornam palpáveis.

Agradeço a Deus pelo cuidado, por ser meu alicerce, por me dar força nas tantas vezes que me senti cansada e por sempre me guiar por caminhos abençoados.

Aos meus pais, Maria da Conceição e Elder, por todas as oportunidades concedidas, pelo apoio e cuidado mesmo a distância e por não medir esforços para que esse dia chegasse. Aos meus irmãos Neubert e Stephanie pelas conversas de incentivo e amizade.

À André por todo companherismo, cuidado, pelos momentos de lucidez e calma nessa jornada.

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia pelo acolhimento institucional em todos os âmbitos desde 2013.

Ao meu orientador Dr. Ossival Lolato Ribeiro pela orientação e, principalmente, pela participação ativa em todas as etapas desse projeto, por ser exemplo de profissional humano e, além disso, por ter se tornado um amigo. À Dr. Emelline Ingrid, por todo auxílio, incentivo e aprendizado.

Ao Grupo de Estudos em Forragicultura da Bahia (GEF-BA) e todos os seus colaboradores que participaram de alguma forma da construção desse projeto, vocês são parte vital dele; e também ao Grupo de Pesquisa Pedossistemas em Biomas do Nordeste, em especial ao professor Dr. Júlio Nóbrega pelos ensinamentos e auxílio.

Às minhas meninas, Andreza Correia e Daniele Cunha, pelo auxílio durante o projeto, pelos dias alegres e também pelas adversidades enfrentadas juntas, tonando a jornada mais leve, e as minhas amigas de toda uma vida, por compreenderem minhas ausências e torcerem por mim.

À professora Dr. Paula Ângela Alcoforado por ser minha incentivadora desde a graduação, pelas palavras profissionais e de vida.

Ao Sr. Ailton, Técnico do Laboratório de Física do Solo, por todo apoio laboratorial e por sempre me receber bem.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, aos funcionários do Prédio de Solos, Bloco L, NEAS, ao Centro de análise de solo da UFPI em nome do Dr. Julian Júnior Lacerda e a Fazenda Experimental, em especial ao Édson, pelo suporte e apoio à pesquisa.

Aos membros do Laboratório de Biologia do Solo pelo espaço cedido para análises, auxílio e amizades feitas, em especial a Caliane Braulio.

À Banca avaliadora, pelas importantes que possibilitaram o aperfeiçoamento desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento para o desenvolvimento desse projeto.

Agora estou preparada para alçar voos mais altos.

Nunca foi sorte, sempre foi Deus!

EPIGRAFE

“Quem estará nas trincheiras ao teu lado?
E isso importa?
Mais do que a própria guerra”.
Ernest Hemingway

ESTRATÉGIAS PARA RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS NO RECÔNCAVO DA BAHIA

RESUMO GERAL

A perda de qualidade das pastagens é um desafio à sustentabilidade agropecuária, com reflexos diretos sobre o solo, a produtividade das culturas e a rentabilidade das atividades rurais. Nesse contexto, objetivou-se avaliar os indicadores químicos e físicos de qualidade do solo, o crescimento e a produtividade de culturas agrícolas em sistema de plantio direto e a viabilidade econômica de um sistema de recuperação de pastagens degradadas na região do Recôncavo da Bahia. O estudo foi realizado no setor de Forragicultura da UFRB, Cruz das Almas - BA, entre abril de 2022 e julho de 2024 (2 anos agrícolas), em blocos casualizados, com sete tratamentos sendo T1: Crotalária, T2: Braquiária, T3: Sorgo, T4: Mandioca, T5: Feijão guandu, T6: Milheto, T7: Controle (pastagem degradada) e quatro repetições (blocos). Para a avaliação foi realizada a caracterização granulométrica do solo, avaliação da densidade, porosidade, resistência à penetração, estabilidade de agregados do solo, pH, macronutrientes e matéria orgânica, caracteres agrônômicos como altura, porcentagem de folhas, colmo, inflorescências e material morto, relação folha/colmo, produção de massa verde e seca, produtividade de silagem, além da avaliação da viabilidade econômica do sistema a partir dos custos operacionais, receita bruta e receita líquida. Ao longo dos dois anos de avaliação, os tratamentos elevaram sobretudo os atributos físicos do solo, enquanto os químicos permaneceram limitantes. A análise multivariada indicou associação de Crotalária, Mandioca e Braquiária com atributos físicos e de Feijão guandu e Milheto com os principais indicadores químicos de qualidade do solo. Nas culturas, houve redução da relação folha:colmo e maior material morto na Braquiária; Crotalária e Mandioca apresentaram as maiores massas verde e seca, e a Mandioca se destacou pela produção de silagem e produtividade de raízes, evidenciando rusticidade e adaptabilidade. Do ponto de vista econômico, o sistema foi viável (COE = R\$ 37.205,37; RB = R\$ 52.274,00; RL = R\$ 15.068,63). O cultivo de espécies sob plantio direto constitui estratégia eficiente para a recuperação de pastagens degradadas nas condições do Recôncavo da Bahia: promove melhorias nos atributos físicos do solo e fornece produtos que contribuem para a amortização dos custos no curto prazo, com potencial de avançar e superar as limitações químicas do solo mediante à continuidade do manejo conservacionista e ajustes nutricionais graduais.

Palavras-chaves: Análise de custos, Diversificação de culturas, Qualidade do solo, Recuperação de pastagens degradadas, Sistemas conservacionistas.

STRATEGIES FOR RECOVERY DEGRADED PASTURES IN THE RECONCAVO OF BAHIA

GENERAL ABSTRACT

The loss of pasture quality represents a major challenge to agricultural sustainability, with direct impacts on soil conditions, crop productivity, and farm profitability. In this context, the present study aimed to evaluate chemical and physical soil quality indicators, the growth and yield of agricultural crops under no-tillage, and the economic feasibility of a degraded pasture recovery system in the Recôncavo region of Bahia, Brazil. The experiment was conducted at the Forage Sector of the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, BA, from April 2022 to July 2024 (two agricultural years), in a randomized block design with seven treatments: T1: Sunn hemp, T2: Signal grass, T3: Sorghum, T4: Cassava, T5: Pigeon pea, T6: Pearl millet, and T7: Control (degraded pasture), with four replications (blocks). Evaluations included soil particle-size distribution, bulk density, porosity, penetration resistance, aggregate stability, pH, macronutrients, and organic matter, as well as agronomic traits such as plant height, proportion of leaves, stems, inflorescences, and dead material, leaf:stem ratio, green and dry matter yield, silage productivity, in addition to the economic feasibility of the system based on operational costs, gross revenue, and net revenue. Over the two years of evaluation, the treatments improved mainly the physical attributes of the soil, while the chemical attributes remained limiting. Multivariate analysis revealed associations of Sunn hemp, cassava, and Signal grass with physical attributes, whereas pigeon pea and pearl millet were more related to key chemical soil quality indicators. In the crops, Signal grass showed a reduction in leaf:stem ratio and a higher proportion of dead material; Sunn hemp and cassava presented the highest green and dry matter yields, and cassava stood out for its silage yield and root productivity, highlighting its rusticity and adaptability. From an economic standpoint, the system proved viable (EOC = \$37,205.37; GR = \$52,274.00; NR = \$15,068.63). The cultivation of species under no-tillage constitutes an efficient strategy for the recovery of degraded pastures in the Recôncavo region of Bahia, as it improves soil physical attributes and generates products that help amortize costs in the short term, with the potential to overcome soil chemical limitations through continued conservation management and gradual nutritional adjustments.

Keywords: Cost analysis, Crop diversification, Soil quality, Recovery of degraded pasture, Conservation systems.

LISTA DE TABELAS

REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1. Graus de degradação de pastagens cultivadas em função da produtividade de forragem e cobertura vegetal.....	17
--	----

CAPÍTULO 1

Tabela 1: Adubação química de cobertura realizada nas parcelas experimentais no primeiro ano agrícola.....	50
---	----

Tabela 2: Adubação química de cobertura realizada nas parcelas experimentais no segundo ano agrícola.....	51
--	----

Tabela 3. Caracterização textural do solo avaliado na profundidade de 0 a 0,2 m antes e após dois ciclos de implantação dos tratamentos.....	55
---	----

Tabela 4. Caracterização textural do solo avaliado na profundidade de 0,2 a 0,4 m antes e após dois ciclos de implantação dos tratamentos.....	56
---	----

Tabela 5. Indicadores físicos do solo avaliados na profundidade de 0 a 0,2 m antes e após dois ciclos de implantação dos tratamentos.....	57
--	----

Tabela 6. Indicadores físicos do solo avaliados na profundidade de 0,2 a 0,4 m antes e após dois ciclos de implantação dos tratamentos.....	61
--	----

Tabela 7. Indicadores químicos do solo avaliados na profundidade de 0 a 0,2 m antes e após dois ciclos de implantação dos tratamentos.....	63
---	----

Tabela 8. Indicadores químicos do solo avaliados na profundidade de 0,2 a 0,4 m antes e após dois ciclos de implantação dos tratamentos.....	69
---	----

CAPÍTULO 2

Tabela 1: Adubação química de cobertura realizada nas parcelas experimentais no primeiro ano agrícola	90
--	----

Tabela 2: Adubação química de cobertura realizada nas parcelas experimentais no segundo ano agrícola	91
---	----

Tabela 3. Crescimento das culturas em função dos respectivos ciclos de vida/produção, em dois anos agrícolas de implantação do sistema.....	93
--	----

Tabela 4. Produtividade das culturas em função dos respectivos ciclos de vida/produção, em dois anos agrícolas de implantação do sistema.....97

CAPÍTULO 3

Tabela 1: Adubação química de cobertura realizada nas parcelas experimentais no primeiro ano agrícola 114

Tabela 2: Adubação química de cobertura realizada nas parcelas experimentais no segundo ano agrícola 114

Tabela 3: Estimativa da produção, comercialização e receita bruta das culturas utilizadas como espécies amortizadoras de custos no sistema de recuperação de pastagens degradadas no primeiro ano agrícola..... 119

Tabela 4: Estimativa da produção, comercialização e receita bruta das culturas utilizadas como espécies amortizadoras de custos no sistema de recuperação de pastagens degradadas no segundo ano agrícola..... 120

Tabela 5: Estimativa do custo operacional total, renda bruta total e renda líquida total da implantação de um sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia ao longo de dois anos agrícolas..... 121

Quadro 1: Custos operacionais associados ao primeiro ano de implantação do sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia..... 116

Quadro 2: Custos operacionais associados ao segundo ano de implantação do sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia..... 118

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Croqui experimental dos tratamentos implantados em campo no sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia49

Figura 2. Agrupamento de Cluster e análise de componentes principais das médias dos indicadores físicos do solo e dos tratamentos avaliados. DS: Densidade do solo; Dp: Densidade de partículas; PT: Porosidade total; MAP: Macroporosidade; MIP: Microporosidade; DMP: Diâmetro médio ponderado; RP: Resistência à penetração. Figuras A) indicadores físicos e tratamentos implantados, profundidade 0 – 0,2 m, Ano 1; B) indicadores físicos e tratamentos implantados, profundidade 0,2 – 0,4 m, Ano 2.....72

Figura 3. Agrupamento de Cluster e análise de componentes principais das médias dos indicadores químicos do solo e tratamentos avaliados. pH (H₂O): potencial hidrogeniônico em água; CE: Condutividade elétrica; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H+Al: Acidez potencial; P: Fósforo; Na: Sódio; K: Potássio; MO: Matéria orgânica; SB: Soma de bases; t: CTC efetiva; T: Capacidade de troca catiônica; V: porcentagem de saturação por bases; m: porcentagem de saturação por alumínio. Figuras A) indicadores químicos e tratamentos implantados, profundidade 0 – 0,2 m, Ano 1; B) indicadores químicos e tratamentos implantados, profundidade 0,2 – 0,4 m, Ano 2.....75

CAPÍTULO 2

Figura 1. Precipitação (mensal), Temperatura máxima (T.max.), Temperatura mínima (T.Min) e Temperatura média (T.méd) no período de julho de 2022 a maio de 2023, em Cruz das Almas, BA. Dados obtidos na Estação Meteorológica Automática da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, BA.....88

Figura 2. Precipitação (mensal), Temperatura máxima (T.max.), Temperatura mínima (T.Min) e Temperatura média (T.méd) no período de julho de 2023 a maio de 2024, em Cruz das Almas, BA. Dados obtidos na Estação Meteorológica Automática da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, BA.....88

Figura 3. Croqui experimental dos tratamentos implantados em campo no sistema de recuperação de pastagem degradada no Recôncavo da Bahia.....89

CAPÍTULO 3

Figura 1. Croqui experimental dos tratamentos implantados em campo no sistema de recuperação de pastagem degradada no Recôncavo da Bahia.....112

SUMÁRIO

1.0	INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2.0	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Aspectos gerais sobre a degradação e recuperação de pastagens.....	16
2.2	Indicadores de qualidade do solo em pastagens degradadas.....	18
2.3	Crotalária e feijão guandu.....	21
2.4	Sorgo e milheto.....	23
2.5	Mandioca e braquiária.....	25
2.6	Viabilidade econômica de sistemas agrícolas.....	27
3.0	REFERÊNCIAS.....	29
	CAPÍTULO 1 - Indicadores de qualidade do solo sob cultivo de espécies agrícolas em sistema de recuperação de pastagens degradadas.....	44
	RESUMO.....	45
	ABSTRACT.....	46
1.0	INTRODUÇÃO.....	47
2.0	MATERIAL E MÉTODOS.....	48
2.1	Localização e caracterização da área experimental.....	48
2.2	Organização experimental, plantio e atributos avaliados.....	49
2.3	Análise estatística.....	54
3.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.0	CONCLUSÕES.....	76
5.0	REFERÊNCIAS.....	77
	CAPÍTULO 2 - Crescimento e produtividade de espécies agrícolas cultivadas sob plantio direto em sistema de recuperação de pastagens degradadas.....	83
	RESUMO.....	84
	ABSTRACT.....	85
1.0	INTRODUÇÃO.....	86
2.0	MATERIAL E MÉTODOS.....	87
2.1	Localização e caracterização da área experimental.....	87
2.2	Organização experimental, plantio e atributos avaliados.....	89
3.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	93
4.0	CONCLUSÕES.....	102
5.0	REFERÊNCIAS.....	102
	CAPÍTULO 3 - Viabilidade econômica da implantação de sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia....	107
	RESUMO.....	108
	ABSTRACT.....	109
1.0	INTRODUÇÃO.....	110
2.0	MATERIAL E MÉTODOS.....	111
2.1	Localização e caracterização da área experimental.....	111
2.2	Organização experimental, plantio e atributos avaliados.....	112
2.3	Análise econômica do sistema.....	115
3.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	116
4.0	CONCLUSÃO.....	123
5.0	REFERÊNCIAS.....	123
6.0	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	127

1. INTRODUÇÃO GERAL

A degradação das pastagens representa um dos principais desafios para a sustentabilidade agropecuária no Brasil, afetando diretamente a produtividade, a qualidade do solo e a rentabilidade das atividades rurais. Estima-se que dos 154 milhões de hectares de pastagens existentes no Brasil, aproximadamente 65% apresentam algum grau de degradação (MAPBIOMAS, 2023; BOLFE et al., 2024). Na região Nordeste, essa degradação pode alcançar níveis alarmantes devido às estiagens prolongadas, acrescidas de práticas de manejo inadequadas, resultando em impactos significativos sobre os atributos químicos e físicos do solo (SANTOS et al., 2022; SILVA et al., 2024; SOUZA et al., 2024).

Para a avaliação qualitativa e quantitativa dos impactos causados pela degradação nos solos são empregadas variáveis conhecidas como indicadores de qualidade do solo. Esses indicadores permitem monitorar as alterações nas propriedades do solo em função do manejo adotado e, a partir disso, definir estratégias de manejo que promovam a manutenção ou a recuperação da sua qualidade (FREITAS et al., 2017; SILVA et al., 2020; SILVA et al., 2024).

Dentre os indicadores químicos de qualidade do solo, o pH (RUTKOWSKA et al., 2015; VISTA; GAIHRE; DAHAL, 2024), o conteúdo de matéria orgânica (OLIVEIRA et al., 2017; OLDFIELD; WOOD; BRADFORD, 2018; GU et al., 2024) e a disponibilidade de nutrientes (MALAVOLTA, 2006; RONQUIM, 2020), são amplamente utilizados devido à sua influência direta na fertilidade do solo e na produtividade das culturas (CARDOSO et al., 2013).

Quanto aos indicadores físicos, a densidade do solo (USDA, 1999, REINERT; REICHARDT, 2001; REICHERT; SUZUKI; REINERT, 2007), a porosidade (FERREIRA, 2010; ROCHA et al., 2015; RODRIGUES et al., 2016), a resistência à penetração (TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1999; MORAES et al., 2014) e a estabilidade de agregados (PEREIRA; THOMAZ, 2014) apresentam alta sensibilidade às alterações decorrentes das práticas de manejo de solo.

No Nordeste, a degradação de pastagens ocorre com frequência devido ao superpastejo, prática caracterizada pelo excesso de animais em uma mesma área por períodos prolongados (PARENTE; MAIA, 2011). Essa condição provoca compactação do solo e consumo excessivo dos brotos jovens, comprometendo a capacidade de regeneração da vegetação forrageira e acelerando o processo de

degradação do solo (OLIVEIRA FILHO, 2023). Diante da intensificação desse fenômeno e da necessidade de preservar a funcionalidade de novos ambientes produtivos, torna-se essencial a adoção de práticas conservacionistas que promovam o uso eficiente do solo e contribuam para a recuperação dos serviços ecossistêmicos (FERNANDES; TEJO; ARRUDA, 2019).

Nesse cenário, a adoção do sistema de plantio direto e a diversificação de culturas, por meio do cultivo de espécies leguminosas, forrageiras e agrícolas, apresenta potencial para proteger e otimizar o uso do solo, melhorar suas propriedades físicas e químicas, favorecer a ciclagem de nutrientes e estimular a fixação biológica de nitrogênio (SILVA et al., 2018; FERNANDES; TEJO; ARRUDA, 2019; VAN EERD et al., 2023). Além disso, pode também contribuir para agregar valor ao sistema através da geração de produtos, possibilitando sua exploração econômica ao longo de todo o ano, bem como na redução dos custos de produção, uma vez que minimiza a necessidade do uso de maquinário e favorece interações entre lavoura e pastagem (PEREIRA et al., 2017; FERNANDES; TEJO; ARRUDA, 2019; KASSAM; FRIEDRICH; DERPSCH, 2019; KUMARA et al., 2020).

Embora as estratégias utilizadas para a recuperação de pastagens apresentem benefícios agrônômicos e ambientais relevantes, sua adoção é limitada, principalmente devido aos custos de implantação, sendo necessário a avaliação de viabilidade dos sistemas e o uso de estratégias que possibilitem a amortização dos investimentos ao longo do tempo (BARBIERI et al., 2022; LAXMAN et al., 2024; RADU et al., 2024).

Para tanto, além dos indicadores de qualidade do solo e da produtividade das culturas, a avaliação de indicadores financeiros como os custos operacionais efetivos, receita bruta e receita líquida são fundamentais durante a implantação dos sistemas, pois fornecem uma visão clara sobre a capacidade do sistema em gerar retorno financeiro, assegurando que as práticas de recuperação de pastagens não sejam apenas ambientalmente eficazes, mas também economicamente viáveis a longo prazo (QUINTINO; PASSOS; RIBEIRO, 2018; CONTE et al., 2020).

No contexto do estado da Bahia, este estudo assume particular importância, considerando que grande parte de sua atividade agropecuária se desenvolve em áreas suscetíveis à degradação e vulnerabilidade ambiental, especialmente no semiárido (QUEIROZ et al., 2018; BRASIL, 2024; SOUZA et al.,

2024). A aplicação de sistemas conservacionistas adaptados às condições edafoclimáticas locais pode representar uma estratégia eficaz para aumentar a produtividade e a resiliência das cadeias produtivas, contribuindo para a sustentabilidade socioeconômica de pequenos e médios produtores. Além disso, a recuperação de áreas degradadas no estado fortalece a segurança alimentar, reduz a pressão sobre ecossistemas nativos e favorece a adaptação às mudanças climáticas.

Desta forma, após as justificativas e alternativas elencadas anteriormente, esse estudo partiu da hipótese de que a diversificação das culturas, aliada à adoção do sistema de plantio direto, promove a melhoria dos indicadores de qualidade do solo, resultando em incrementos na produtividade das culturas. Conseqüentemente, esse incremento contribui para a amortização dos custos empregados à implantação do sistema através da sua comercialização, sendo uma alternativa para a reabilitação dessas áreas e para a viabilidade de sistemas de recuperação de pastagens degradadas.

Neste contexto, objetivou-se com esse estudo avaliar 1) Indicadores de qualidade do solo sob cultivo de espécies agrícolas em sistema de pastagem degradada; 2) O crescimento e a produtividade de culturas agrícolas cultivadas sob plantio direto em sistema de pastagem degradada; e 3) A viabilidade econômica do sistema para fins de recuperação de uma pastagem degradada no Recôncavo da Bahia. Para tanto, foram investigadas as mudanças nos indicadores físicos e químicos do solo em dois anos agrícolas, associando ao desempenho das culturas e o impacto na recuperação da área de pastagem estudada. A análise econômica possibilitou avaliar o custo de implantação versus a renda adquirida a partir da produção estimada das culturas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Aspectos gerais da degradação e recuperação de pastagens

As pastagens no Brasil ocupam cerca de 154 milhões de hectares, desempenhando um papel fundamental na agropecuária nacional, mas a degradação dessas áreas representa um desafio ambiental e econômico significativo (BOLFE et al., 2024). Estima-se que aproximadamente 65% das pastagens apresentam algum nível de degradação (MAPBIOMAS, 2023). Em regiões semiáridas, como o Nordeste do Brasil, fatores climáticos intensificam esse processo, podendo culminar em desertificação, um fenômeno de difícil reversão (SOUZA et al., 2024).

Considerada como um fenômeno complexo, que resulta da combinação de fatores bióticos, abióticos e antrópicos, a degradação de pastagens é caracterizada pelo processo evolutivo de redução do vigor e produtividade das pastagens, a perda da qualidade do solo e da capacidade de sustento animal (CARVALHO et al., 2017; SILVA et al., 2018). Entre as principais causas da degradação de pastagens em solos tropicais destacam-se o superpastejo e o uso intensivo de maquinário agrícola (OLIVEIRA FILHO, 2023; GUO; CHEN, 2024), provocando compactação do solo e o esgotamento da vegetação.

A compactação do solo reduz a infiltração de água e a aeração, comprometendo o crescimento radicular das plantas e, quando acrescida da retirada da cobertura vegetal, facilita a erosão, resultando na perda ou não absorção de nutrientes essenciais, afetando a produtividade das culturas e a dinâmica do ecossistema (CHUKWUEMEKA et al., 2024). Consequentemente, pastagens degradadas não conseguem atender às necessidades nutricionais do rebanho, reduzindo a produtividade pecuária e impactando negativamente a renda dos produtores (COSTA et al., 2024).

Como solução a médio e a longo prazo, estratégias de reabilitação da capacidade produtiva das pastagens tornam-se essenciais, visando interromper o processo de degradação e restabelecer a sustentabilidade dos sistemas agropecuários (FERNANDES; TEJO; ARRUDA, 2019; KASSAM; FRIEDRICH; DERPSCH, 2019).

Dentre essas estratégias, a recuperação de pastagens refere-se ao processo de restaurar a capacidade produtiva da forragem, mantendo-se a mesma

espécie ou cultivar previamente utilizada. Por outro lado, a renovação implica na restauração da produção de forragem por meio da introdução de uma nova espécie ou cultivar, substituindo a que se encontra degradada geralmente por outra mais produtiva. Por fim, o termo reforma de pastagens é utilizado para descrever as práticas de manejo realizadas após o estabelecimento da pastagem, com o objetivo de prolongar a vida útil e a exploração produtiva (TOWNSEND; COSTA; PEREIRA, 2012).

Para definir a estratégia mais adequada de recuperação é fundamental compreender o nível de degradação da área. Esse processo apresenta desafios, já que as pastagens são compostas por diferentes espécies vegetais, tipos de solo e possuem finalidades diversas. Além disso, a avaliação do grau de degradação é geralmente realizada de forma visual, dependendo da percepção do técnico ou produtor, o que pode apresentar subjetividade no processo. Com o objetivo de padronizar essa análise, especialistas têm, ao longo dos anos, desenvolvido métodos simplificados para facilitar a identificação. Assim, os graus de degradação de pastagens podem ser classificados em quatro estágios, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Graus de degradação de pastagens cultivadas em função da produtividade de forragem e cobertura vegetal

Graus de degradação	Caracterização
Grau 1 Degradação leve	Redução na produtividade < 25%, com perda de vigor e qualidade; restrições de nutrientes, tais como N, P e K.
Grau 2 Degradação moderada	Declínio na produtividade de forragem entre 25% a 50%; redução da cobertura do solo; reduzido número de novas plantas forrageiras; surgimento de plantas invasoras.
Grau 3 Degradação forte	Declínio na produtividade entre 50% e 75%; surgimento de plantas invasoras de folhas largas, início de processos erosivos.
Grau 4 Degradação muito forte	Declínio na produtividade superior a 75%; alta proporção de plantas invasoras, surgimento de gramíneas nativas, ocorrência de formigas e cupins; pouca cobertura do solo, processos erosivos acentuados.

Fonte: Adaptado BARCELLOS (1990); SPAIN; GUALDRÓN (1991)

No entanto, a decisão de realizar a recuperação, reforma ou renovação de uma pastagem não depende apenas do grau de degradação em que ela se encontra, mas também do objetivo final desejado pelo produtor. Dessa forma, neste estudo, as definições de recuperação, renovação e reforma não foram adotadas de forma individual. Ao invés disso, foram consideradas diferentes estratégias que englobavam os três tipos de práticas levando em consideração cenários e finalidades distintas: 1) Cultivo de Crotalária e Feijão guandu para o produtor que decide recuperar sua pastagem por meio da adubação verde e manter a cobertura do solo; 2) Sorgo e Milheto com o objetivo de cobertura do solo e produção de forragem para possível amortização de custos através da produção de silagem; 3) Mandioca e Braquiária, a primeira para amortização de custos através de sua comercialização e a segunda, para recobrimento do solo.

2.2. Indicadores de qualidade do solo em pastagens degradadas

A degradação de pastagens está intimamente relacionada às alterações nos atributos químicos e físicos do solo, comprometendo sua qualidade e funcionalidade (SANTOS et al., 2022). Dessa forma, os indicadores de qualidade do solo são parâmetros fundamentais para monitorar e avaliar, de maneira quantitativa e qualitativa, as alterações no ambiente, permitindo a análise da dinâmica ecossistêmica e das mudanças nos atributos do solo que são influenciadas por fatores naturais e antrópicos (ARAÚJO et al., 2012; FREITAS et al., 2017; SILVA et al., 2020; SILVA et al., 2024).

Os indicadores químicos de qualidade do solo apresentam grande relevância nos estudos agrônômicos e ambientais, proporcionando uma visão da disponibilidade de nutrientes no solo, principalmente dos macronutrientes essenciais (SILVA et al., 2020). Segundo Cardoso et al. (2013), os principais indicadores químicos utilizados na avaliação da qualidade do solo incluem o pH, a matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes.

A acidificação do solo, caracterizada pela redução do pH do solo, é outro efeito comumente associado à degradação de pastagens, resultando na redução da disponibilidade de nutrientes para as plantas e no aumento da toxicidade por alumínio, o que pode acarretar implicações socioeconômicas significativas devido

à diminuição da produtividade das culturas e trazer prejuízos ao produtor (VISTA; GAIHRE; DAHAL, 2024).

Devido à sua elevada sensibilidade às mudanças impostas pelas práticas de manejo, a matéria orgânica do solo (MO) também é um indicador amplamente utilizado para a avaliação da qualidade do solo, especialmente em ambientes tropicais, onde o intenso processo de intemperismo reduz a capacidade de retenção de água, a disponibilidade de nutrientes para as plantas e a atividade biológica do solo (OLDFIELD; WOOD; BRADFORD, 2018; GU et al., 2024; MANYANGA et al., 2024).

No solo, a MO tem maior ocorrência nas camadas superficiais, diminuindo à medida que se aumenta a profundidade, além disso, sua qualidade e quantidade são determinadas pelo tipo de cobertura vegetal, espécies cultivadas, características fisiológicas e clima (OLIVEIRA et al., 2017). Segundo Cruz et al. (2003), verifica-se maior estabilidade estrutural e menor risco de degradação em solos com maiores concentrações de MO, como em sistemas de plantio direto, nos quais a manutenção da cobertura vegetal e adição de resíduos orgânicos favorecem a qualidade do solo.

Para os atributos físicos do solo, a textura do solo, apesar de ser pouco utilizada como indicador de qualidade, possui influência no uso e manejo do solo, bem como na resistência do solo à tração, na dinâmica da água no solo, grau de compactação, ciclagem de nutrientes e uso de corretivos e herbicidas. Enquanto atributo inerente ao solo, não está sujeita a mudanças de classe devido ao uso e manejo, somente sendo alterada quando ocorrer à mistura com solos de texturas diferentes (CENTENO et al., 2017).

A degradação de pastagens também resulta frequentemente em alterações significativas na densidade do solo que tende a aumentar devido ao pisoteio intensivo por animais e à compactação, provocando o aumento da resistência à penetração do solo pelas raízes das plantas e redução do volume de poros totais, especialmente os macroporos, essenciais à infiltração e a aeração do solo (ROMERO-RUIZ et al., 2024). Como consequência do aumento da compactação do solo, há uma redução nas condições de drenagem do solo, o que favorece o empoçamento e a anoxia, que prejudicam o crescimento radicular e, conseqüentemente, a absorção eficiente dos nutrientes essenciais ao crescimento

das plantas (VAN ANTWERPEN et al., 2022). Valores de densidade do solo em torno de $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ para solos arenosos, $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ para solos argilosos e $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ para solos de textura média podem ser limitantes e restringir o desenvolvimento radicular das culturas (REINERT; REICHARDT, 2001).

A resistência à penetração (RP) também é utilizada como indicador de qualidade do solo, pois está intimamente relacionada a outros atributos e fenômenos ocorridos nos solos como a densidade do solo, grau de compactação, porosidade, teor de água no solo e o crescimento de plantas (BERGAMIN et al., 2010; DUARTE et al., 2019). No geral, o valor de 2,0 MPa de RP vem sendo utilizado como limite crítico ao desenvolvimento do sistema radicular da maioria das culturas, independentemente do tipo de manejo utilizado (TAYLOR; ROBERTSON; PARQUER, 1966; TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1999; MORAES et al., 2014).

Quanto à porosidade do solo, essa corresponde à fração do volume ocupada por água e ar, refletindo os espaços vazios entre os agregados. Esse sistema poroso favorece o crescimento radicular e pode ser um indicativo da sustentabilidade do solo, em razão da sua relação direta com a textura e estrutura do solo (FERREIRA, 2010). Valores menores que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ de macroporosidade são considerados restritivos para o desenvolvimento de plantas, o que compromete a difusão de gases e reduz o crescimento radicular da maioria das culturas (MELO FILHO; SOUZA; SOUZA, 2007; RODRIGUES et al., 2016). Em áreas degradadas, observa-se comumente a redução da porosidade do solo e o incremento da densidade do solo em decorrência do processo de compactação (REINERT; REICHERT, 2006; LEÃO et al., 2020).

A agregação do solo também é afetada em áreas degradadas, pois a redução no tamanho dos agregados e a consequente perda da estabilidade compromete a porosidade, a capacidade de retenção de água (BODNER; MENTLER; KEIBLINGER, 2021), a resistência à compressão e a circulação de gases, o que prejudica processos como o desenvolvimento e respiração radicular, além da atividade microbiana aeróbia (GANAULT et al., 2024). Valores de diâmetro médio ponderado (DMP) inferiores a 2,30 mm representam solos susceptíveis ao processo erosivo (PEREIRA; THOMAZ, 2014).

Além dos atributos físicos destacados anteriormente, a degradação de pastagens também se manifesta pela redução da taxa de infiltração de água

(GREENWOOD; MCKENZIE, 2001; CENTERI, 2022), da condutividade hidráulica saturada (HAMZA; ANDERSON, 2005) e da retenção de água/água disponível às plantas (DIAS JUNIOR; ESTANISLAU, 1999). Tais alterações, comumente associadas ao superpastejo e à compactação, comprometem a estrutura e a fertilidade do solo, diminuem sua capacidade de sustentar sistemas produtivos e intensificam processos como erosão, salinização e desertificação (BAYATA, 2024). Em contrapartida, práticas de manejo como o aumento do aporte de matéria orgânica, a rotação de culturas, o uso de plantas de cobertura e o manejo criterioso do pastejo/solo tendem a elevar infiltração e condutividade, favorecer a ciclagem de nutrientes e restaurar serviços ecossistêmicos (TEAGUE; KREUTER, 2020; NRCS, 2024).

2.3. Crotalária e feijão guandu

A *Crotalária juncea* L. e a *Cajanus cajan* L. Huth são leguminosas amplamente utilizadas em sistemas agrícolas devido à sua capacidade de melhorar a qualidade do solo e promover práticas agrícolas de baixo impacto ambiental. Ambas desempenham papel fundamental na fixação biológica de nitrogênio (FBN), com o aumento da disponibilidade desse nutriente essencial para culturas subsequentes, reduzindo a necessidade de fertilizantes químicos (VAN EERD et al., 2023; BERRIEL, 2024). A biomassa de ambas é rica em nutrientes como fósforo, potássio e cálcio, que contribui diretamente para o aumento da matéria orgânica e a melhoria da estrutura do solo, o que favorece a retenção de água, a infiltração e a estabilidade dos agregados (ATAKOUN et al., 2023; BERRIEL, 2024).

A *Crotalária juncea* é uma espécie de ciclo anual que se destaca pelo rápido crescimento, elevada produção de biomassa, alcançando 40 a 60 toneladas de massa verde e 6 a 8 toneladas de matéria seca por hectare, e eficiência no controle biológico, especialmente contra nematóides, e de plantas invasoras, devido à liberação de compostos alelopáticos durante a sua decomposição (MUSHTAQ et al., 2024).

Devido à sua capacidade de melhorar a fertilidade, reduzir a compactação e aumentar a diversidade microbiana do solo, a *Crotalária juncea* tem sido amplamente empregada na recuperação de áreas degradadas (ARONE et al., 2024). Seu sistema radicular pivotante pode romper as camadas mais compactadas

do solo favorecendo sua descompactação natural. Sua baixa relação C/N garante uma decomposição mais rápida, acelerando a ciclagem de nutrientes e sua disponibilidade para as plantas ao longo dos ciclos de cultivo (BOHÓRQUEZ-SÁNCHEZ et al., 2023). Além disso, adapta-se bem a diferentes condições climáticas e tipos de solo, sendo eficaz tanto em sistemas de adubação verde quanto em consórcios agrícolas (COLOMBO et al., 2020; COELHO et al., 2024).

A *Cajanus cajan*, por sua vez, é uma leguminosa arbustiva semi-perene, que possui sistema radicular profundo, chamado de arado biológico, que auxilia na ciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo, melhorando sua fertilidade, além disso, favorece a descompactação do solo (SINGH et al., 2005; GODOY; SANTOS, 2010; KUMAR et al., 2023). Conhecida como Feijão guandu, trata-se de uma espécie versátil e tem sido amplamente utilizada como alimento humano e animal, adubação verde, condicionador do solo e no controle de erosão (GWATA et al., 2024). Sua resistência a estresses ambientais, capacidade de formar cobertura do solo e de se associar a bactérias fixadoras de nitrogênio tornam-na essencial na recuperação de pastagens degradadas (BAKALA et al., 2024).

A variedade anã Iapar 43-Aratã utilizada nesse estudo, foi desenvolvida pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) e apresenta características específicas que a tornam uma excelente opção para diferentes sistemas de cultivo (FARIAS et al., 2013), sendo altamente produtiva e adequada para regiões semiáridas e solos de baixa fertilidade (SILVA et al., 2015).

Ambas têm importante papel na regeneração de pastagens degradadas, auxiliando na restauração da fertilidade do solo e prevenção da erosão. Sua integração em sistemas de rotação de culturas e consórcios melhora a biodiversidade do agroecossistema, aumenta o sequestro de carbono no solo e contribui para o controle das mudanças climáticas (BERRIEL, 2024). Além disso, seu cultivo favorece a sustentabilidade agrícola e agrega valor econômico e social aos sistemas produtivos, destacando-se no manejo sustentável para a recuperação de solos degradados e a promoção de sistemas agrícolas resilientes.

2.4. Sorgo e milho

O sorgo (*Sorghum bicolor* cv. BRS Ponta Negra) e o milho (*Pennisetum glaucum* cv. BRS 1501) são cultivares desenvolvidos para atender às demandas de sistemas agrícolas sustentáveis e de alta eficiência, sendo cultivados em diversas regiões (TREVISOLI et al., 2024; VÁSQUEZ et al., 2024).

Muito cultivado em regiões tropicais, subtropicais e temperadas devido a sua adaptabilidade, o *Sorghum bicolor* (L.) Moench é originário da África e é considerado o quinto cereal mais importante do mundo, depois do milho, arroz, trigo e cevada (KHAWAJA et al., 2014; BALAKRISHNA et al., 2019). No Brasil, os principais estados produtores são Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Mato Grosso e Bahia (CONAB, 2024).

Dentre suas diversas utilizações, o sorgo destaca-se não só pela produtividade da forragem, mas pela possibilidade de conservação na forma de silagem, devido a sua elevada produtividade de biomassa e qualidade bromatológica, sendo amplamente utilizado na formulação de ração animal, especialmente em regiões onde o déficit hídrico (PERAZZO et al., 2017), a redução da fertilidade do solo e a salinidade comprometem o cultivo de outras gramíneas, além de ser requerido na produção de grãos, fabricação de produtos alimentícios, bioetanol, fertilizantes orgânicos e também de papel (KHAWAJA et al., 2014; CHAVES et al., 2017; ALMEIDA et al., 2019; KANG et al. 2023; FERREIRA et al., 2024; SOUZA et al., 2024). De acordo com a Embrapa Milho e sorgo, o sorgo silageiro apresenta uma silagem média de 50-60 t MV/ha e 15-18 t MS/ha (EMBRAPA, 2017).

Quanto ao seu crescimento, o sorgo possui caules eretos e sistema radicular robusto onde, à medida que as raízes se desenvolvem, conseguem alcançar camadas mais profundas, aplicando pressão suficiente para romper áreas compactadas e permitir uma exploração maior do solo em busca de água, o que otimiza a absorção de nutrientes (SINGH et al., 2012; VENKATESWARAN et al., 2019). Além disso, sua resistência a pragas e doenças, aliada à tolerância ao estresse hídrico, faz do sorgo uma opção viável para pequenos e grandes produtores em diferentes regiões climáticas, com destaque para o Semiárido brasileiro (PERAZZO et al., 2017; YUSRANI et al., 2024). Esta espécie também

contribui para a rotação de culturas, ajudando no controle de plantas daninhas e na conservação do solo (PEREIRA FILHO; RODRIGUES, 2015).

O Milheto (*Pennisetum glaucum* L.), assim como o sorgo, pertence à grande família das gramíneas, sendo considerado o sexto cereal de maior relevância no contexto da agricultura, principalmente em regiões áridas e semiáridas dos trópicos, especialmente na Ásia e na África. No Brasil, o milheto é frequentemente cultivado em sistemas de plantio direto, atuando como planta de cobertura do solo, produção de forragem animal e grãos para ração (SRIVASTAVA et al., 2020; SATYAVATHI et al., 2021), principalmente nos estados Minas Gerais, Goiás, Bahia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, São Paulo e Paraná (CHOUDHARY et al., 2021; HASSAN; SEBOLA; MALEBELE, 2021; D'OLIVEIRA; TARDIN; MACHADO, 2022). O milheto apresenta uma produção média de 20-70 t MV/ha, com potencial de até 60 t MV/ha e 20 t MS/ha como forragem (PEREIRA FILHO; CRUZ; ALBUQUERQUE FILHO, 2016).

Planta de ciclo anual e de clima tropical, o milheto é caracterizado por sua rápida emergência, crescimento vigoroso e ereto, porte alto, podendo atingir até 4 ou 5 m de altura, quando cultivado no verão e, na safrinha de 1,50-1,80 m (DANTAS; NEGRÃO, 2010). Possui tolerância a seca e a solos de baixa fertilidade (GUIMARÃES et al., 2013; CHOUDHARY et al., 2021), o que o torna ideal para uso como forragem e cobertura do solo (MORAIS et al., 2019). Além disso, o milheto possui capacidade de ciclar nutrientes, especialmente o nitrogênio e potássio (BOLDRIN et al., 2024), e de melhorar a estrutura do solo devido ao seu sistema radicular profundo (PEREIRA et al., 2022), sendo um diferencial significativo em pastagens degradadas. Cultivares de milheto tem sido amplamente utilizadas em sistemas integrados de produção e em esquemas de consorciação com culturas comerciais, como soja e milho (ALVES et al., 2024), contribuindo para a manutenção da produtividade agrícola e a redução dos custos de produção.

Tanto o sorgo quanto o milheto possuem papel relevante em estratégias de manejo sustentável, especialmente no contexto da recuperação de áreas degradadas, pois ajudam a reduzir os impactos da compactação do solo, aumentam a retenção de água e promovem a biodiversidade microbológica do solo (JAHANSOUZ et al., 2014; PEREIRA et al., 2022; RAJ et al., 2024). Essas características tornam essas culturas indispensáveis para a agricultura tropical,

especialmente em cenários de mudanças climáticas, onde a resiliência e a eficiência no uso dos recursos são essenciais para a segurança alimentar e a sustentabilidade ambiental.

2.5. Mandioca e braquiária

A Mandioca (*Manihot esculenta* cv. BRS Novo Horizonte) e a Braquiária (*Urochloa brizantha* cv. MG4) representam espécies estratégicas para a agricultura tropical, não apenas por sua versatilidade, mas também pela capacidade de atender a múltiplas demandas nos sistemas produtivos (SALTON; TOMAZI, 2014; LOBO; SANTOS JÚNIOR; NUNES, 2018; MARCHÃO et al., 2024).

Espécie nativa e cultivada em todos os estados brasileiros, a mandioca é uma planta de porte arbustivo, perene, que pode variar entre um e cinco metros de altura, sendo frequentemente cultivada em solos de textura superficial média a arenosa, com baixas concentrações de nutrientes e de matéria orgânica, admitindo faixa de pH entre 5,5 e 7 (SOUZA; FIALHO, 2003). Entretanto, o cultivo sucessivo em solos com essas características sem o uso de práticas adequadas de manejo favorece processos erosivos, compactação e perdas de matéria orgânica no solo resultando em sua degradação física, química e biológica (CARDOSO et al., 1992). Em relação a produtividade de silagem, considerando a parte aérea de mandioca, a média é 17,2-40,9 t MV/ha e de 17,2-40,9 t MS/ha (FERNANDES et al., 2011), sofrendo variações conforme cultivar, manejo e condições ambientais.

A cultivar BRS Novo Horizonte foi desenvolvida pela Embrapa Mandioca e Fruticultura em parceria com outras agências públicas de fomento no ano de 2018 com foco em elevada produtividade e estabilidade agrônômica (SAMPAIO FILHO; CAMPOS; OLIVEIRA, 2024), sendo uma opção robusta para pequenos e médios produtores. Além da produção de raízes com alto teor de amido, fundamentais para a indústria alimentícia (OLIVEIRA et al., 2020), essa cultivar apresenta folhagem nutritiva que pode ser utilizada na alimentação animal na forma de silagem, aumentando sua eficiência no aproveitamento integral da planta. A BRS Novo Horizonte também é resistente a pragas e doenças importantes e sua adaptabilidade a diferentes condições edafoclimáticas amplia sua aplicabilidade em sistemas diversificados, especialmente em áreas de agricultura familiar (SILVEIRA, 2019).

A *Urochloa brizantha* cv. MG4, por sua vez, é amplamente reconhecida como uma gramínea de alto desempenho em sistemas de pastagens e de integração agropecuária devido a sua alta adaptabilidade a diferentes condições de solo e clima (TELES et al., 2011). Conhecida popularmente como braquiária, seu sistema radicular fasciculado, de rápido estabelecimento, profundo e vigoroso é eficiente em promover uma estruturação adequada do solo, com formação de agregados estáveis e macroporos que favorecem maior capacidade de infiltração de água, o que proporciona um ambiente favorável para o crescimento do sistema radicular das culturas subsequentes (SALTON; TOMAZI, 2014). Além disso, em sistemas de plantio direto, a utilização da braquiária reduz processos erosivos, contribui para o maior aporte de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, pois após o corte, a palhada permanece sobre o solo promovendo maior cobertura, se decompondo de forma lenta (SALTON et al., 2008).

A produção de forragem de alta qualidade, rica em proteínas e energia da braquiária é fundamental para a manutenção de rebanhos saudáveis e produtivos (TELES et al., 2011; ÍTAVO et al., 2016). Além disso, suas características agrônômicas, como resistência ao pisoteio e alta persistência em solos de baixa fertilidade (MARCHÃO et al., 2024), tornam-na ideal para regiões tropicais e subtropicais. Outro destaque é a sua eficiência no controle de plantas invasoras, o que promove a ocupação eficiente do solo e reduz a necessidade de herbicidas (TIRONI et al., 2012). Em acréscimo, as gramíneas como as do gênero *Urochloa spp.* possuem alta relação C/N, promovendo menor velocidade de decomposição e maior tempo de proteção do solo contra a insolação e o impacto das gotas da chuva, reduzindo a evaporação da água do solo e os processos erosivos (CARVALHO et al., 2013; SANTOS et al., 2019).

A combinação dessas duas espécies oferece benefícios significativos (GOBBI et al., 2022). A mandioca, com seu ciclo longo e adaptabilidade a solos arenosos ou degradados, promove a estabilização e conservação do solo, reduzindo a erosão e aumentando a retenção hídrica (GWEYI-ONYANGO; SAKHA; JEFWA, 2021), enquanto as cultivares de *Urochloa brizantha spp.* complementam o sistema com sua elevada produção de biomassa e cobertura permanente, o que contribui para a ciclagem de nutrientes e a fixação de carbono (FONTES et al., 2014).

A interação entre mandioca e braquiária evidencia o potencial dessas espécies para integração em sistemas agrícolas que conciliem alta produtividade com sustentabilidade, configurando-se como uma estratégia promissora para atender às exigências da agricultura tropical frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela crescente pressão sobre os recursos naturais.

2.6. Viabilidade econômica de sistemas agrícolas

A análise econômica de sistemas agropecuários é fundamental para a gestão eficiente da propriedade rural, especialmente no que se refere à maximização da produção, à avaliação de riscos e à sustentabilidade das atividades agrícolas (SANTOS et al., 2019). Por meio dela, é possível estimar o retorno sobre o investimento e a rentabilidade das atividades, assegurando continuidade e planejamento estratégico do empreendimento (GOLLO; VIAN; DIEHL, 2017).

Embora as estratégias de recuperação de pastagens ofereçam benefícios ambientais, sua adoção é frequentemente limitada pelos altos custos iniciais, especialmente em sistemas com degradação avançada, o que exige análises de viabilidade econômica, com alternativas de amortização de custos (OLIVEIRA; CORSI, 2005; BARBIERI et al., 2022; LAXMAN et al., 2024; RADU et al., 2024). Associar culturas com potencial edafoclimático e retorno econômico, como produção de forragem, grãos ou silagem, torna-se eficaz para amortizar os custos de recuperação e sustentar os sistemas produtivos (FRANZLUEBBERS, 2007; BALBINO et al., 2011; VOLSI et al., 2020; VOLSI et al., 2021).

Indicadores econômicos como COE (coeficiente operacional efetivo), RB (Receita Bruta) e RL (Receita Líquida) são eficientes nessa avaliação. O COE representa todos os custos de produção anuais (MATSUNAGA et al., 1976), enquanto RB e RL refletem, respectivamente, a receita antes e depois da dedução dos custos operacionais (QUINTINO; PASSOS; RIBEIRO, 2018).

Evidências recentes indicam a importância da avaliação da viabilidade econômica dos sistemas de produção. A exemplo, Cunha et al. (2025) avaliaram sistemas integrados como o lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no Cerrado e observaram que, sob condições favoráveis de crédito rural (como linhas subsidiadas com prazos e taxas atrativas), o modelo torna-se economicamente

viável, exibindo VPL positivo, TIR robusta e payback dentro do horizonte do projeto, destacando o papel vital das avaliações financeiras para a rentabilidade dos sistemas agropecuários.

Além disso, estudos demonstram que o uso integrado desses indicadores facilita decisões de manejo e planejamento (CONTE et al., 2020). Ao avaliarem o custo de produção da silagem de milho na região Norte do Estado de São Paulo, Miguel et al. (2023) observaram que, embora a cultivar P4285VYHR apresentasse COE 2,4% superior à variedade P4285R, sua produtividade de 34% maior reduziu o custo por tonelada e aumentou a viabilidade econômica, evidenciando como a RB e a RL são diretamente influenciadas pelo rendimento físico das culturas, devendo ser avaliadas como parâmetro no planejamento econômico.

Em seus estudos, Duarte et al. (2019) ao avaliarem 6 anos de integração lavoura-pecuária detalharam que 37,7% do COE foi composto pela aquisição de fertilizantes/corretivos e 16,9% por sementes, além disso, indicaram que a lucratividade oscila com a produtividade e o clima, sendo que ganhos de produtividade reduzem o custo unitário e melhoram a ROL/RL. De forma semelhante, Texeira et al. (2018) indicaram em seu estudo de caso em propriedade leiteira avaliando o sinergismo com integração Lavoura-Pecuária-Floresta que 61% do COE foi composto por fertilizantes e houve uma RB de R\$ 2.437,50 ha⁻¹, com melhora do resultado econômico e investimentos viabilizados (infraestrutura de silos).

Ao realizar a análise econômico-financeira de um sistema de cultivo de soja em sucessão ao milho no Sudoeste da Amazônia, Quintino et al. (2018), considerando dentre alguns indicadores RB e RL, evidenciaram a viabilidade da atividade no cenário base, com RB de R\$ 4.270 ha⁻¹ e lucro operacional positivo. Em acréscimo, Pompeu et al. (2014) demonstrou, a partir da análise financeira com COE/COT em seu estudo de produtividade e custos de produção de silagem para alimentação de ovinos a partir de Sorgo, Milheto e Girassol, que a produção de silagem na propriedade apresentou menor custo em comparação à aquisição no mercado, ressaltando a importância dessas avaliações para subsidiar o planejamento econômico e orientar estratégias de manejo mais eficientes.

3. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. G. F. DE.; PARRELLA, R. A. C.; SIMEONE, M. L. F.; RIBEIRO, P. C. O.; SANTOS, A. S.; COSTA, A. S. V.; GUIMARÃES, A. G.; SCHAFFERT, R. E. Composition and growth of sorghum biomass genotypes for ethanol production. **Biomass and Bioenergy**, v.122, p.343-348, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.01.030>

ALVES, M. S.; NASCIMENTO, N. M.; PEREIRA, L. A. F.; BARBOSA, T. A.; COSTA, C. H. M.; GUIMARÃES, T. M.; BEZERRA, A. C. T. P.; MACHADO, D. L. Long-Term Effect of Crop Succession Systems on Soil Chemical and Physical Attributes and Soybean Yield. **Plants**, v.13, n.16, p.227, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants13162217>

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n.1, p.187-206, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5777/PAeT.V5.N1.12>

ARONE, G. J.; OCAÑA, R.; SÁNCHEZ, A.; VILLADAS, P. J.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, M. Benefits of *Crotalaria juncea* L. as Green Manure in Fertility and Soil Microorganisms on the Peruvian Coast. **Microorganisms**, v.12, n.11, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms12112241>

ATAKOUN, A. M.; TOVIHOUDI, P. G.; DIOGO, R. V.; YEMADJE, P. L.; BALARABE, O.; AKPONIKPÈ, P. I.; TITTONELL, P. Evaluation of cover crop contributions to conservation agriculture in northern Benin. **Field Crops Research**, v.303, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109118>

BAKALA, H. S.; DEVI, J.; SINGH, G.; SINGH, I. Drought and heat stress: insights into tolerance mechanisms and breeding strategies for pigeonpea improvement. **Planta**, v.259, n.5, p.123, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-024-0440a1-6>

BALAKRISHNA, D.; VINODH, R.; MADHU, P.; AVINASH, S.; RAJAPPA, P. V.; VENKATESH BHAT, B. Tissue culture and genetic transformation in *Sorghum bicolor*. In: Breeding sorghum for diverse end uses. **Woodhead Publishing**, p.115-130, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00007-3>

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO DA SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1-13, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000001>

BARBIERI, R. S.; TROLEIS, M. J. B.; DE SOUZA, P. T.; RODRIGUES, B. H. V.; SABBAG, O. J.; MONTANARI, R. Análise técnico-econômica de sistemas de recuperação de pastagens de *Urochloa brizantha* CV. Marandu. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente - RAMA**, v.15, n.1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n1e8380>

BARCELLOS, A. O. Recuperação de pastagens degradadas. Planaltina, DF: Embrapa-CPAC, 1990. (**Série Treinamento: Curso de formação e manejo de pastagens**).

BAYATA, A. Soil Degradation: Contributing Factors and Extensive Impacts on Agricultural Practices and Ecological Systems-Systematic Review. **Journal of Agriculture and Environmental Sciences**, v.13, p.16-34, 2024. DOI: <https://doi.org/10.15640/ijhs.v13a2>

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.3, p.681-91, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300009>

BERRIEL, V. Effects of Soil Sucrose Application on Biological Nitrogen Fixation and Aboveground Biomass Production in Leguminous Cover Crops. **Nitrogen**, v.5, n.3, p.763-771, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/nitrogen5030050>

BODNER, G.; MENTLER, A.; KEIBLINGER, K. Plant roots for sustainable soil structure management in cropping systems. **The root systems in sustainable agricultural intensification**, p.45-90, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119525417.ch3>

BOHÓRQUEZ-SÁNCHEZ, C. E.; CASTRO, S. A. Q.; CARVALHO, J. L. N.; TENELLI, S.; FERRAZ-ALMEIDA, R.; SERMARINI, R. A.; LISBOA, I. P.; OTTO, R. Legume growth and straw retention in sugarcane fields: Effects on crop yield, C and N storage in the central-south Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.347, p.108374, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108374>

BOLDRIN, M. C. F.; ASSIS, R. L.; PINHO COSTA, K. A.; TAVARES, R. L. M.; SIMON, G. A.; BRAZ, A. J. B. P.; SILVA, A. G.; TORRES, J. L. R. Grain productivity and nutrient accumulation in millet straw grown in the off-season. **Revista Desarrollo Local Sostenible - Delos**, v.17, n.58, p.01-19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/rdelosv17.n58-019>

BOLFE, É. L.; VICTORIA, DD. C.; SANO, E. E.; BAYMA, G.; MASSRUHÁ, S. M. F. S.; OLIVEIRA, A. F. Potential for Agricultural Expansion in Degraded Pasture Lands in Brazil Based on Geospatial Databases. **Land**, v.13, n.2, p.200, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/land13020200>

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Plano de ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas na Caatinga (PPCaatinga)** [recurso eletrônico]. – Brasília, DF: MMA, 2024. 112 p.

CARDOSO, A.; POTTER, R.; DEDECEK, R. A. Estudo comparativo da degradação de solos pelo uso agrícola no Noroeste do Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.2, p.349-353, 1992.

CARDOSO, E. J. B. N.; VASCONCELLOS, R. L. F.; BINI, D.; MIYAUCHI, M. Y. H.; SANTOS, C. A.; ALVES, P. R. L.; PAULA, A. M.; NAKATANI, A. S.; PEREIRA, J. M.; NOGUEIRA, M. A. Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? **Scientia Agricola**, v.70, n.4, p.274–289, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000400009>

CARVALHO, W. P.; CARVALHO, G. J.; ABBADE NETO, D. O.; TEIXEIRA, L. G. V. Desempenho agrônomo de plantas de cobertura usadas na proteção do solo no período de pousio. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.48, n.2, p.157-166, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000200005>

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **PubVet**, v.11, p.1036-1045, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22256/PUBVET.V11N10.1036-1045>

CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O.; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, [S.L.], v.4, n.1, p.31, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15210/rbes.v4i1.11576>

CENTERI, C. Effects of Grazing on Water Erosion, Compaction and Infiltration on Grasslands. **Hydrology**, v.9, n.2, art.34, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrology9020034>.

CHAVES, A. K. L.; LIMA, L. S.; FONSECA, L. M.; DA SILVA, P. G. G.; TONUCCI, R. G.; BUENI, L. G. Características agrônômicas de variedades de *Sorghum bicolor* (L.) Moench em sistema agrossilvipastoril. In: **Congresso Brasileiro de Agronomia – CBA**, 30., 2017, Fortaleza, CE. *Anais...* Fortaleza: [s.n.], 2017.

CHOUDHARY, M. L.; TRIPATHI, M. K.; TIWARI, S.; PANDYA, R. K.; GUPTA, N.; TRIPATHI, N.; PARIHAR, P. Screening of Pearl Millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] Germplasm Lines for Drought Tolerance Based on Morpho-physiological Traits and SSR Markers. **Current Journal of Applied Science and Technology**, v.40, n.5, p.46-63, 2021. DOI: <https://doi.org/10.9734/CJAST/2021/v40i531303>

CHUKWUEMEKA, I. S.; LI, G.; MO, Y.; JACQUES, K. J. Impacts of microplastics and urbanization on soil health: an urgent concern for sustainable development. **Green Analytical Chemistry**, v.8, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2024.100095>

COELHO, F. C.; PRINS, C. L.; ROCHA, J. G. D. G.; JESUS, V. P.; TEIXEIRA, N. S.; EIRAS, P. P.; VAZ, A. S. Advancing Agricultural Sustainability in Tropical Climates: Harnessing the Potential of Green Manuring. **Preprints.org**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.20944/preprints202402.1573.v1>

COLOMBO, J. N.; PUIATTI, M.; SILVA-SANTOS, R. H.; SANTOS-DIAS, L. A. D.; COLLI-SILVESTRE, H. Successive crops of broccoli, green corn and pea after taro (*Colocasia esculenta*)-sunn hemp (*Crotalaria júncea*) consortium. **Acta Agronômica**, v.69, n.4, p.331-338, 2020. DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v69n4.61794>

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: quarto levantamento, safra 2023/2024**. Brasília, DF: Conab, 2024. v. 11, n. 4.

CONTE, O.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; JUNIOR, A. A. B. MANEJO DO SOLO. IN: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; JUNIOR, A. A. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. (Ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina Embrapa Soja, p.347 Cap. 3, 2020, p.53-80.

COSTA, D. P.; SILVA, T. G. E.; ARAÚJO, A. S. F.; PEREIRA, A. P. A.; MENDES, L. W.; BORGES, W. S.; FRANÇA, R. F.; SOUZA, C. A. F.; SILVA, B. A.; SILVA, R. O.; MEDEIROS, E. V. Soil fertility impact on recruitment and diversity of the soil microbiome in sub-humid tropical pastures in Northeastern Brazil. **Scientific Reports**, v.14, n.3919, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54221-7>

CUNHA, L. E.; SOUZA, A. N.; ANDRADE, J. G.; JOAQUIM, M. S.; LIMA, M. F. B.; NUNES, A. S.; MIGUEL, E. P.; CRUZ, J. A. F.; BARBOSA, G. F. B.; SARAIVA, C. S. Unlocking Sustainable Profitability: Economic Feasibility of Integrated Crop–Livestock–Forest Systems for Pasture Recovery in the Brazilian Cerrado. **Forests**, v.16, n.6, p.978, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/f16060978>.

CRUZ, A. C. R.; PAULETTO, E. A.; FLORES, C. A.; SILVA, J. B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, n.6, p.1105-1112, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000600015>

DANTAS, C. C. O.; NEGRÃO, F. DE M. Características agronômicas do Milheto (*Pennisetum glaucum*). **Pubvet**, Londrina, v.4, n.37, 2010.

DIAS JUNIOR, M. S.; ESTANISLAU, W. T. Grau de compactação e retenção de água de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.45-51, 1999.

D'OLIVEIRA, P. S.; TARDIN, F. D.; MACHADO, J. R. BRS 1501, BRS 1502 e BRS 1503: cultivares de milheto para uso forrageiro, produção de grãos e de palha em plantio direto. Juiz de Fora, MG: Embrapa Gado de Leite, 2022. (**Comunicado Técnico**, n.94).

DUARTE, M. L.; SILVA FILHO, E. P.; CAMPOS, N. C. C.; MONTOVANELLI, M. B. C.; MOTA JÚNIOR, R. C. Avaliação da variabilidade espacial da resistência a penetração e teor de água de um solo de terra preta arqueológica. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v.4, n.3, p.200-208, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.4.3.2019.2511.200-208>.

DUARTE, J. O.; NETO, M. M. G.; MIRANDA, R. Al.; ALVARENGA, R. C.; SANTANA, D. P. **Análise socioeconômica do sistema de integração lavoura-pecuária**. Embrapa, Capítulo 10, 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1167574/1/Analise-socioeconomica-do-sistema-de-ILP.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2025.

EMBRAPA. Sorgo silageiro: ainda dá tempo de plantar. **NEWS**. Portal Embrapa, 27 nov. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/30148795/sorgo-silageiro-ainda-da-tempo-de-plantar>. Acesso em: 18 ago. 2025.

FARIAS, L. N.; BONFIM-SILVA, E. M.; PIETRO-SOUZA, W.; VILARINHO, M. K. C.; SILVA, T. J. A.; GUIMARÃES, S. L. Características morfológicas e produtivas de feijão guandu anão cultivado em solo compactado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.497-503, 2013.

FERNANDES, C. H. S.; TEJO, D. P.; ARRUDA, K. M. A. Desenvolvimento do Sistema de Plantio Direto no Brasil: Histórico, Implantação e Culturas Utilizadas. **UNICIÊNCIAS**, v.23, n.2, p.83-88, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2019v23n2p83-88>

FERNANDES, F. D.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; VIEIRA, E. A.; FIALHO, J. de F. Utilização de raízes e parte aérea de mandioca na alimentação animal. In: FIALHO, J. de F.; VIEIRA, E. A. (**Edição Técnica**). Mandioca no Cerrado: orientações técnicas. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p.136-146, 2011.

FERREIRA, D. D. J.; COSTA NETA, C. D. M.; ZANINE, A. D. M.; SANTOS, F. N. D. S.; PEREIRA, D. M.; CAMPOS, F. S.; PARENTE, H. N.; PARENTE, M. O. M.; RODRIGUES, R. C.; SANTOS, E. M.; SOUSA, F. C. S.; ALVES, G. R. Sustainable Production of Forage Sorghum for Grain and Silage Production with Moisture-Retaining Polymers That Mitigate Water Stress. **Agronomy**, v.14, n.8, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14081653>

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: LIER, Q. de J. V. (org.) **Física do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010, p.1-27.

FONTES, J. G. G.; FAGUNDES, J. L.; BACKES, A.; BARBOSA, L.; CERQUEIRA, E. S. A.; SILVA, L. M.; MORAIS, J. A. S.; VIEIRA, J. S. Acúmulo de massa seca em cultivares de *Brachiaria brizantha* submetida a intensidades de desfolhação. **Semina: Ciências**, v.35, n.3, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n3p1425>

FRANZLUEBBERS, A. J.. Integrated crop–livestock systems in the southeastern USA. **Agronomy Journal**, v.99, n.2, p.361–372, 2007. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0076>

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v.26, n.1-2, 2017.

GANAULT, P.; NAHMANI, J.; CAPOWIEZ, Y.; FROMIN, N.; SHIHAN, A.; BERTRAND, I.; BUATOIS, B.; MILCU, A. Earthworms and plants can decrease soil greenhouse gas emissions by modulating soil moisture fluctuations and soil macroporosity in a mesocosm experiment. **Plos one**, v.19, n.2, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289859>

GREENWOOD, K. L.; MCKENZIE, B. M. Grazing effects on soil physical properties and the consequences for pastures: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.41, n.8, p.1231-1250, 2001.

GOBBI, K. F.; TAKAHASHI, M.; AZEVEDO, M. C. B.; FIDALSKI, J.; LUGÃO, S. M. B. Produtividade de mandioca em cultivo convencional e plantio direto em sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.57, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2022.v57.02677>.

GODOY, R.; SANTOS, P. M. Cajanus cajan. In: Fonseca, D. M.; Martuscello, J. A. (Ed.). **Plantas forrageiras**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011, p.294-309.

GOLLO, V.; VIAN, M.; DIEL, F. J. Análise da viabilidade econômico-financeira das atividades leiteira e suínica em uma propriedade rural. In: **Congresso Brasileiro de custos**, 24., 2017, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: UFSC, 2017, p.4289–4399.

GU, B.; WANG, R.; SARDANS, J.; PEÑUELAS, J.; HAN, X.; JIANG, Y. Altered soil nitrogen retention by grassland acidification from near-neutral to acidic conditions: A plant-soil-microbe perspective. **Fundamental Research**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2023.10.025>

GUIMARÃES, C. V.; ASSIS, R. L.; SIMON, G. A.; PIRES, F. R.; FERREIRA, R. L.; SANTOS, D. C. Desempenho de cultivares e híbridos de milho em solo submetido a compactação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.11, p.1188-1194, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001100009>

GUO, Y.; CHEN, Y. A review of the impact of grazing on grassland ecosystems: Research progress and prospects. **Advances in Resources Research**, v.4, n.3, p.455-473, 2024. DOI: https://doi.org/10.50908/arr.4.3_455

GWATA, E. T.; MASHIFANE, D. C.; MAPHOSA, T. M.; JANK, L.; MUSHORIWA, H. Leveraging Underutilized Food Plants for Food and Nutrition Security: Selected Nutritional Attributes in Pigeonpea (*Cajanus cajan*) Seed. In **Food Security and Nutrition**. CRC Press, 2024, p.16.

GWEYI-ONYANGO, J. P.; SAKHA, M. A.; JEFWA, J. Agricultural interventions to enhance climate change adaptation of underutilized root and tuber crops. In **African**

Handbook of Climate Change Adaptation. Cham: Springer International Publishing, p.61-86, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-45106-6_40

HAMZA, M. A.; ANDERSON, W. Soil compaction in cropping systems: a review of the nature, causes and possible solutions. **Soil & Tillage Research**, v.82, n.2, p.121-145, 2005.

HASSAN, Z. M.; SEBOLA, N. A.; MABELEBELE, M. The nutritional use of millet grain for food and feed: a review. **Agriculture & Food Security**, v.10, n.16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40066-020-00282-6>

ÍTAVO, L. C. V.; ÍTAVO, C. C. B. F.; DIAS, A. M.; FRANCO, G. L.; PEREIRA, L. C.; LEAL, E. S.; ARAÚJO, H. S.; SOUZA, A. R. D. L. Combinações de fontes de nitrogênio não proteico em suplementos para novilhos Nelore em pastejo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.17, n.3, p.448-460, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000300011>

JAHANSOUZ, M.; AFSHAR, R.; HEIDARI, H.; HASHEMI, M. Evaluation of yield and quality of sorghum and millet as alternative forage crops to corn under normal and deficit irrigation regimes. **Jordan Journal of Agricultural Sciences**, v.10, n.4, 2014.

KANG, X.; GAO, W.; CUI, B.; ABD EL-ATY, A. M. Structure and genetic regulation of starch formation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) endosperm: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.239, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124315>

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R. 2019. Global spread of conservation agriculture. **International Journal of Environmental Studies**, v.76, n.1, p.29-51, 2019. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>

KHAWAJA, C.; JANSSEN, R.; RUTZ, D.; LUQUET, D.; TROUCHE, G.; REDDY, B.; RAO, P, S.; BASAVARAJ, G.; SCHAFFERT, R.; DAMASCENO, C.; PARRELLA, R.; ZACHARIAS, A.; BUSHMANN, R.; RETTENMAIER, N.; MAROCCO, A.; SNIJMAN, W.; SHARGIE, N.; TERBLANCHE, H.; ZAVALA-GARCIA, F.; BRACONNIER, S. **Energy Sorghum: An alternative Energy crop: A Handbook.** WIP Renewable Energies, 2014.

KUMAR, S.; GOPINATH, K. A.; SHEORAN, S.; MEENA, R. S.; SRINIVASARAO, C.; BEDWAL, S.; JANGIR, C. K.; MRUNALINI, K.; JAT, R.; PRAHARAJ, C. S. Pulse-based cropping systems for soil health restoration, resources conservation, and nutritional and environmental security in rainfed agroecosystems. **Frontiers in Microbiology**, v.13, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1041124>

KUMARA T. K., KANDPAL A., PAL S. A meta-analysis of economic and environmental benefits of conservation agriculture in South Asia. **Journal of Environmental Management**, v.269, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110773>

LEÃO, B. D. DE A.; CARVALHO, A. H. DE O.; DE OLIVEIRA, F. L. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de manejo de agroecossistemas no Território do Caparaó. **Revista de Ciências Agrárias**, v.63, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2020.3169>

LAXMAN, T.; YAMUNA, C.; RAJESHWAR REDDY, T.; SUDHAKAR, S. Impact of conservation tillage on soil properties and crop yield: A review. **International Journal of Research in Agronomy**, n.7, v.9, p.862-867, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i9k.2396>

LOBO, I. D.; SANTOS JÚNIOR, C. F.; NUNES, A. Importância socioeconômica da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para a comunidade de Jaçapetuba, município de Cametá, PA. **Multitemas**, v.23, n.55, p.195-211, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20435/multi.v23i55.1913>

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MANYANGA, M. A.; MARUMURE, J.; CHIGEDE, N.; MUBVUMA, M.; MUDZENGI, C. P.; NYAMBIYA, I.; MUTEVERI, M. **Vermicomposting for Improved Soil Health: Prospects for Degraded Soils**. In *The Marginal Soils of Africa: Rethinking Uses, Management and Reclamation* Cham: Springer Nature Switzerland, p.325-337, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-55185-7_17

MAPBIOMAS. **Coleção 7.1 da série anual de mapas de cobertura e uso da terra no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: jan. 2024.

MARCHÃO, R. L.; MENDES, I. C.; VILELA, L.; JÚNIOR, R. G.; NIVA, C. C.; PULROLNIK, K.; SOUZA, K. W.; CARVALHO, A. M. Integrated Crop–Livestock–Forestry Systems for Improved Soil Health, Environmental Benefits, and Sustainable Production. *Soil Health Series: Volume 3. Soil Health and Sustainable Agriculture in Brazil*, v.3, p.19-61, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780891187448.ch2>

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P. E. N.; DULLEY, R. D.; OKAWA, H.; PEROSO, I. A. **Metodologia de custo de produção utilizado pelo IEA**. *Agricultura em São Paulo*, v.23, n.1, p.123-139, 1976.

MELO FILHO, J. F.; SOUZA, A. L.V.; SOUZA, L. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.6, p.1599-1608, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600036>

MIGUEL, F. B.; BÁRBARO-TORNELI, I. M.; GONÇALVES, E. C. P.; SILVA, J. A. A.; FARIA, M. H. Custos de produção: silagem de milho na Região Norte do Estado de São Paulo. **Nucleus** (Ed. Esp. Encontro Técnico de Agricultura da Alta Mogiana), p. 201-205, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3738/1982.2278.4143>.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical Limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutrudox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.38, n.1, p. 288-298, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100029>

MORAIS, W. A.; SOARES, F. A.; CUNHA, F. N.; TEIXEIRA, M. B.; COSTA, C. T.; VIEIRA, G. D. S. Agronomic performance of millet plants grown in soil fertilized with organic wastes. **Journal of Agricultural Science**, v.11, n.137, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v11n11p137>

MUSHTAQ, S.; TAK, H.; SHEIKH, J. H.; MALIK, I. M.; -UN-NISA, U. Plant parasitic nematode management using antagonistic plants as a potential substitute to hazardous chemical control—a review. **International Journal of Pest Management**, p.1-11, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/09670874.2024.2399069>

NRCS — Natural Resources Conservation Service. **Rangeland Soil Quality: Infiltration**. USDA-NRCS, 2024.

OLDFIELD, E. E.; WOOD, S. A.; BRADFORD, M. A. Direct effects of soil organic matter on productivity mirror those observed with organic amendments. **Plant and Soil**, Genève, v.423, p.363-373, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-017-3513-5>

OLIVEIRA, E. J.; FUKUDA, W. M. G.; OLIVEIRA, S. A. S.; REINGENBERG, R.; SILVA, M. R.; SOUZA, A. S.; SILVA, A. L. L.; OLIVEIRA FILHO, M. S.; FARIA, M. L.; SILVA, R. J. S. BRS Novo Horizonte - a new cassava variety for industrial use. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n2c24>

OLIVEIRA FILHO, J. S. How do climate and land-use affect soil carbon and nitrogen stocks and the chemical properties of floodplain soils in tropical drylands?. **Catena**, v.231, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107289>

OLIVEIRA, K. J. B. DE.; LIMA, J. S. S. DE.; AMBRÓSIO, M. M. DE Q.; BEZERRA NETO, F.; CHAVES, A. P. Propriedades nutricionais e microbiológicas dosolo influenciadas pela adubação verde. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40 n.1, p.23-33, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.19084/RCA16010>

OLIVEIRA, P. P. A.; CORSI, M. Recuperação de pastagens degradadas para sistemas intensivos de produção de bovinos. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005, 23 p. (**Circular Técnica**, 38).

PARENTE, H. N.; MAIA, M. O. Impacto do pastejo sobre a compactação dos solos com ênfase no Semiárido. **Revista Trópica**, v.5, p.3, 2011.

PERAZZO, A. F.; CARVALHO, G. G. P.; SANTOS, E. M.; BEZERRA, H. F. C.; SILVA, T. C.; PEREIRA, G. A.; RAMOS, R. C. S.; RODRIGUES, J. A. S. Agronomic evaluation of sorghum hybrids for silage production cultivated in semiarid conditions.

Frontiers in Plant Science, v.8, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01088>

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Estabilidade de Agregados em Diferentes Sistemas de Uso e Manejo no Município de Reserva-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.2, p.378-387, 2014. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.2.p378-387>

PEREIRA FILHO, I. A.; RODRIGUES, J. A. S. **Sorgo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. 327p.

PEREIRA, A. P.; SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J. N.; GOLLE, D. P.; HORN, R. C. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura de verão. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n.4, p.799-807, 2017. DOI: <https://doi.org/10.19084/RCA17065>

PEREIRA, V. C.; ASSIS, R. L.; PINHO COSTA, K. A.; SILVA, A. G. D.; TAVARES, R. L. M.; PIRES, F. R.; SIMON, G. A.; PAIVA FILHO, S. V.; FERREIRA, C. S.; LOPES, I. A. Root growth characteristics of millet cultivars and sorghum hybrids under increasing levels of soil compaction. **Australian Journal of Crop Science**, v.16, p.286-292, 2022. DOI: <https://doi.org/0.21475/ajcs.22.16.02.3444>

PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C.; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. Plantio. In: EMBRAPA MILHO E SORGO. Cultivo do milheto. 5. ed., versão eletrônica. [S.l.]: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. (**Sistemas de Produção**, 3).

POMPEU, R. C. F. F.; ANDRADE, I. R. A.; SOUZA, H. A.; GUEDES, F. L.; OLIVEIRA, L. S.; TONUCCI, R. G.; MARTINS, E. C. Produtividade e Custos de Produção de Silagem para Alimentação de Ovinos a partir de Sorgo, Milheto e Girassol Safra 2013. **Circular Técnica** 44, Embrapa, p.1-7, 2014.

QUEIROZ, A. F.; SALVIANO, A. M.; CUNHA, T. J. D.; OLSZEWSKI, N.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; OLIVEIRA NETO, M. B. Potentialities and limitations of agricultural use in soils of semi-arid region of the state of Bahia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.90, p.3373-3387, 2018.

QUINTINO, S. M.; PASSOS, A. M. B.; RIBEIRO, R. DA S. Avaliação Econômico-financeira da soja em sistema integrado em sucessão ao milho na região do Sudoeste da Amazônia. **Enciclopédia Biosfera**, v.15 n.28, p.180, 2018. DOI: https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018B16

RADU, M.; BOLOHAN, C.; MIHALASCU, C.; MARUTESCU, A.; NEWBERT, M.; VASILEIADIS, V.. Conservation agriculture impact on soil and crop productivity: a review of long-term field trials. **AAB Bioflux**, v.16, n.1, 2024.

RAJ, S.; CHAUDHARY, S.; GHULE, N. S.; BARAL, K.; PADHAN, S. R.; GAWANDE, K. N.; SINGH, V. Sustainable farming and soil health enhancement through millet cultivation: A review. **International Journal of Plant & Soil Science**, v.36, p.222-233, 2024. DOI: <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i34418>

REICHERT, J. M.; SUZUKI, L. E. A. S.; REINERT, D. J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos em ciência do solo**, v.5, p.49-134, 2007.

REINERT, J. D.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: Carlesso, R.; Petry, M.; Rosa, G. & Ceretta, C. A. **Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul**, Santa Maria, 2001, p.114-131.

REINERT, J. D.; REICHERT, J. M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

ROCHA, S. P.; PREVEDELLO, J.; REINERT, D. J.; FLEIG, F. D.; VOGELMANN, E. S.; SOARES, J. C. W.; HEINZ, B. B. Propriedades físicas do solo e crescimento de eucalipto implantado em diferentes métodos de preparo do solo. **Scientia Forestalis**, v.43, n.108, p.965-977, 2015. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v43n108.20](https://doi.org/10.18671/scifor.v43n108.20)

RODRIGUES, M. S.; SOUZA, C.; LIMA, D. D.; SILVA, S. D. P.; ALVES, D. C.; MACHADO, N. S. Impacto do cultivo do coqueiro irrigado na qualidade física do solo na região semiárida brasileira. **Ciencia del Suelo**, v.34, n.1, p.139-144, 2016.

ROMERO-RUIZ, A.; O'LEARY, D.; DALY, E.; TUOHY, P.; MILNE, A.; COLEMAN, K.; WHITMORE, A. P. An agrogeophysical modelling framework for the detection of soil compaction spatial variability due to grazing using field-scale electromagnetic induction data. **Soil Use and Management**, v.40, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/sum.13039>

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: EMBRAPA, 2ª edição, 2020, 226 p.

RUTKOWSKA, B.; SZULC, W.; HOCH, M.; SPYCHAJ-FABISIAK, E. Forms of Al in soil and soil solution in a long-term fertilizer application experiment. **Soil Use and Management**, v.31, n.1, p.114-120, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/sum.12150>

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.11-21, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002>

SALTON, J. C.; TOMAZI, M. Sistema radicular de plantas e qualidade do solo. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2014. (**Comunicado Técnico**).

SAMPAIO FILHO, J. S.; CAMPOS, M. S.; OLIVEIRA, E. J. Stability and genetic parameters for cassava yield attributes in the tropical humid region of Brazil. **Euphytica**, v.220, n.127, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10681-024-03384-5>

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; NASCIMENTO JUNIOR, A. do; SANTI, A.; DALMAGO, G. A. Avaliação de sistemas de rotação de culturas na análise econômica e de risco, nas décadas de 1980 a 2010. In: SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T.; DALMAGO, G.A.; PIRES, J.L.F.; SANTI, A. (Ed.). **Sistemas de produção para cereais de inverno: três décadas de estudos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019a. Cap. 8, p. 256-307.

SANTOS, J. M. M.; PEIXOTO, C. P.; SILVA, M. R.; ALMEIDA, A. T.; CASTRO, A. M. P. B. Agronomic and productive characteristics of sunflower intercropped with forage in a crop-livestock integration system. **Revista Caatinga**, v.32, n.2, p.514-525, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n224rc>

SANTOS, J. V.; BENTO, L. R.; BRESOLIN, J. D.; MITSUYUKI, M. C.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; BERNRDI, A. C. C.; MENDES, I. C.; MARTIN-NETO, L.; MARTIN-NETO, L. The long-term effects of intensive grazing and silvopastoral systems on soil physicochemical properties, enzymatic activity, and microbial biomass. **Catena**, v.219, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106619>

SATYAVATHI, C. T.; AMBAWAT, S.; KHANDELWAL, V.; SRIVASTAVA, R. K. PEARL MILLET: A Climate-Resilient Nutricereal for Mitigating Hidden Hunger and Provide Nutritional Security. **Frontiers in Plant Science**, v.12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.659938>

SILVA, A.; SANTOS, F. L. S.; BARRETTO, V. C. M.; FREITAS, R. J.; KLUTHCOUSKI, J. Recuperação de pastagem degradada pelo consórcio de milho, *Urochloa brizantha* cv. marandu e guandu. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.5, p.39-47, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v5i2.1382>

SILVA, E. M. B.; FRIGO, G. R.; SANTOS, C. S. A.; BEZERRA, M. D. L.; SILVA, T. J. A. Availability of soil water in the initial development of Pigeon pea cultivated in a controlled environment. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.23, n.1, p.39-47, 2015. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v23i1.493>

SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; BATISTA, A. M. A.; SOUSA NETO, A. T.; BARBOSA, J. M. S.; LIMA, A. A. S.; LIMA, A. B. M.; DONATO, A. F. Utilização de atributos físicos e químicos como indicadores de qualidade do solo. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.17, n.4, p.01-18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.4-055>

SILVA, M.; VELOSO, C. L.; DO NASCIMENTO, D. L.; DE OLIVEIRA, J.; DE FREITAS PEREIRA, D.; DA SILVA COSTA, K. D. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.7, p.47838-47855, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-431>

SILVEIRA, R. B. **Características agronômicas e bromatológicas de cultivares de mandioca**. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), Itapetinga, Bahia, Brasil, 2019. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Disponível em: [Dissertação-Pronta-Rebeka-Borges.pdf](#). Acesso em 04 de jan. 2025.

SINGH, V.; VAN OOSTEROM, E. J.; JORDAN, D. R.; HAMMER, G. L. Genetic control of nodal root angle in sorghum and its implications on water extraction. **European Journal of Agronomy**, v.42, p.3-10, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.04.006>

SINGH, V. K.; DWIVEDI, B. S.; SHUKLA, A. K.; CHAUHAN, Y. S.; YADAV, R. L. Diversification of rice with pigeonpea in a rice–wheat cropping system on a Typic Ustochrept: effect on soil fertility, yield and nutrient use efficiency. **Field Crops Research**, v.92, p.85-105, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.09.011>

SOUZA, J. M. S.; NETO, A. B.; ROSA, M. A. B.; TARDIN, F. D.; GALATI, R. L.; CHAVES, C. S.; PEREIRA, D. H. Nutritional value and fermentability of sorghum silages grown in the Amazon biome. **Grassland Science**, p.1-9, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1111/grs.12440>

SOUZA, L. S.; FIALHO, J. F. Cultivo da mandioca para região do cerrado. Sistema de produção, v.8, versão eletrônica. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2003. (**Comunicado Técnico**).

SPAIN, J. M.; GUALDRÓN, R. Degradación y rehabilitación de pasturas. In: LASCANO, C.E.; SPAIN, J.M. (Ed.). **Establecimiento y renovación de pasturas**. Cali: CIAT, 1991, p.269-283.

SRIVASTAVA, R. K.; SINGH, R. B.; PUJARULA, V. L.; SRIKANTH, B.; PUSULURI M.; CHELLAPILLA, T. S.; YADAV, R.S.; GRUPTA, R. Genome wide association studies and genomic selection in Pearl millet: Advances and Prospects. **Frontiers in Genetics**, v.10, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01389>

TAYLOR, H. M.; ROBERTSON, G. M.; PARQUER, J. J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v.102, p.18-22, 1966. DOI: <https://dx.doi.org/10.1097/00010694-196607000-00002>

TEAGUE, R.; KREUTER, U. Managing Grazing to Restore Soil Health, Ecosystem Function, and Ecosystem Services. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v.4, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.534187>

TEXEIRA, S. R.; CALSAVARA, L. H. F.; MULLER, M. D.; MARTINS, C. E. Estudo de caso em propriedade leiteira avaliando sinergismo com integração Lavoura-Pecuária-Floresta. (**Circular Técnica**, 117), Embrapa, p.1-17, 2018.

TELES, T. G. R. M.; CARNEIRO, M. S. S.; SOARES, I.; PEREIRA, E. S.; SOUZA, P. Z.; MAGALHÃES, J. A. Produção e composição química da *Brachiaria brizantha* cv. MG-4 sob efeito de adubação com NPK. **Acta Scientiarum**, v.33, n.2, p.137-143, 2011. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v33i2.9392>

TIRONI, S. P.; GALON, L.; FARIA, A. T.; BELO, A. F.; SILVA, A. A.; BARBOSA, M. H. P. Efficiency of a reduced herbicide rate for *Brachiaria brizantha* control in

sugarcane. **Planta Daninha**, v.30, n.4, p.791-798, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582012000400013>

TORMENA, C. A.; DA SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil and Tillage Research**, v.52, n.3-4, p.223-232, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00086-0](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00086-0)

TOWNSEND, C. R.; COSTA, N. L.; PEREIRA, R. G. A. **Recuperação e práticas sustentáveis de manejo de pastagens na Amazônia**. 1. ed. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2012, 23 p.

TREVISOLI, F. D. C. A.; SOUZA FRANÇA, A. F.; SILVA PAUSE, A. G.; SILVA, N. R.; OLIVEIRA, L. G.; NASSAR, R. F.; BRUNES, L. C.; JACOVETTI, R. Fracionamento de proteínas e carboidratos das silagens de milho forrageiro com adição de casca de soja. **Revista Observatório de La Economía Latinoamericana**, v.22, n.4, p.01-17, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/oelv22n4-006>

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. Department of Agriculture. **Soil quality test kit guide**. Washington, DC: USDA ARS - Soil Quality Institute, 1999, 82p.

VAN ANTWERPEN, R.; VAN HEERDEN, P. D. R.; KEEPING, M. G.; TITSHALL, L. W.; JUMMAN, A.; TWEDDLE, P. B.; CAMPBELL, P. A review of field management practices impacting root health in sugarcane. **Advances in Agronomy**, v.173, p.79-162, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.02.002>

VAN EERD, L. L.; CHAHAL, I.; PENG, Y.; AWREY, J. C. Influence of cover crops at the four spheres: A review of ecosystem services, potential barriers, and future directions for North America. **Science of The Total Environment**, v.858, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159990>

VÁSQUEZ, M. A. N.; SOUSA, F. R. R.; VÁSQUEZ, E. M. F.; RIBEIRO, A. L. A.; SANTOS, F. G. B. Morphological components of sorghum cultivar “BRS Ponta Negra” (*Sorghum bicolor* L. Moench), under doses of pig farming wastewater. **Research, Society and Development**, v.13, n.2, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i2.45148>.

VENKATESWARAN, K.; SIVARAJ, N.; PANDRAVADA, S. R.; THIRUPATHI REDDY, M.; SARATH BABU, B. Classification, distribution and biology. In: Breeding sorghum for diverse end uses. **Woodhead Publishing**, p.33-60, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101879-8.00003-6>

VISTA, S. P.; GAIHRE, Y. K.; DAHAL, K. R. Plant nutrient availability in acid soil and management strategies. In **Climate Change and Soil-Water-Plant Nexus: Agriculture and Environment**. Singapore: Springer Nature Singapore, p.331-353, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-6635-2_11

VOLSI, B.; HIGASHI, G. E.; BORDIN, I.; TELLES, T. S. Production and profitability of diversified agricultural systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.93, n.2, p.1-15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120191330>

VOLSI, B.; BORDIN, I.; HIGASHI, G. E.; TELLES, T. S. Economic profitability of crop rotation systems in the Caiuá sandstone area. **Ciência Rural**, v.50, n.2, p.1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190264>

YUSRIANI, Y.; USRINA, N.; HAIQAL, M.; HAYANTI, S.Y.; QOMARIYAH, N.; BAKAR, B.A.; NATHANIA, N.M.; SABRI, M. Potential and Utilization of Sorghum in Dry Land as Animal Feed. In Proceedings of the IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science**; IOP Publishing: Bristol, UK, v.1297, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1297/1/012023>

Capítulo 1

Indicadores de qualidade do solo sob cultivo de espécies agrícolas em sistema de recuperação de pastagens degradadas

Indicadores de qualidade do solo sob cultivo de espécies agrícolas em sistema de recuperação de pastagens degradadas

RESUMO: A degradação de pastagens provoca alterações negativas nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, requerendo medidas que mitiguem seus efeitos e restabeleçam sua funcionalidade e qualidade. Dessa forma, objetivou-se avaliar os indicadores físicos e químicos do solo sob cultivo de espécies agrícolas em plantio direto, em uma área de pastagem degradada no Recôncavo da Bahia. O estudo foi realizado no setor de Forragicultura da UFRB, Cruz das Almas - BA, entre abril de 2022 e julho de 2024, em sistema de plantio direto, blocos casualizados, sete tratamentos sendo T1: Crotalária, T2: Braquiária, T3: Sorgo, T4: Mandioca, T5: Feijão guandu, T6: Milheto, T7: Controle (área de pastagem degradada), com quatro repetições (blocos). Foi realizada a caracterização granulométrica do solo e, antes e após a implantação das culturas, foram avaliados os seguintes indicadores: densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, diâmetro médio ponderado, resistência à penetração, pH, macronutrientes e matéria orgânica do solo (MO). Os resultados foram analisados de forma individual e, através da análise de agrupamento de Cluster e da análise de componentes principais (ACP). A classificação textural do solo permaneceu como franco-argilo-arenosa nos dois anos avaliados. Os tratamentos promoveram alterações benéficas nos indicadores físicos do solo, como a redução da DS, DMP e RP, além do incremento na PT, MAP e MIP, indicando melhoria na estrutura e na qualidade física do solo, enquanto os indicadores químicos permaneceram limitantes ao crescimento das culturas. Houve a formação de grupos a partir do agrupamento de Cluster e a ACP explicou mais de 85% dos resultados dos indicadores físicos e cerca de 70% dos resultados para os indicadores químicos. Os tratamentos Crotalária, Mandioca e Braquiária influenciaram principalmente os indicadores físicos do solo, enquanto Feijão guandu e Milheto influenciaram os principais indicadores químicos. Na ausência de manejo, o tratamento Controle mantido em pousio não apresentou capacidade de recuperação natural.

Palavras-chaves: Atributos do solo, Diversificação de culturas, Produção, Sistemas conservacionistas.

Soil quality indicators under cultivation of agricultural species in degraded pastures recovery system

ABSTRACT: Pasture degradation induces negative changes in the physical, chemical, and biological properties of the soil, requiring management strategies that mitigate its effects and restore its functionality and quality. Thus, the objective was to evaluate the physical and chemical soil indicators under the cultivation of agricultural species in a no-tillage system, in an area of degraded pasture in the Recôncavo region of Bahia. The experiment was carried out at the Forage Sector of the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, BA, from April 2022 to July 2024, under a no-tillage system, in a randomized block design with seven treatments: T1: Sunn hemp, T2: Signal grass, T3: Sorghum, T4: Cassava, T5: Pigeon pea, T6: Pearl millet, and T7: Control (degraded pasture area), with four replications (blocks). Soil particle-size distribution was determined, and before and after crop establishment, the following indicators were evaluated: bulk density (BD), total porosity (TP), macroporosity (MAP), microporosity (MIP), mean weight diameter (MWD), penetration resistance (PR), pH, macronutrients, and soil organic matter (SOM). Results were analyzed individually and by cluster analysis and principal component analysis (PCA). Soil texture remained classified as sandy clay loam over the two years of evaluation. The treatments promoted beneficial changes in soil physical indicators, such as reductions in BD, MWD, and PR, in addition to increases in TP, MAP, and MIP, indicating improvements in soil structure and physical quality, while chemical indicators remained limiting to crop growth. Cluster analysis identified groups of similarity, and PCA explained more than 85% of the variation in physical indicators and approximately 70% of the variation in chemical indicators. Sunn hemp, cassava, and Signal grass mainly influenced soil physical indicators, whereas pigeon pea and pearl millet were associated with the main chemical indicators. In the absence of management, the control treatment left fallow did not show natural recovery capacity.

Keywords: Soil attributes, Crop diversification, Production, Conservation systems.

1. INTRODUÇÃO

A exploração extensiva dos recursos naturais através de sistemas de manejo convencionais, bem como a conversão de áreas de vegetação nativa em pastagens mal manejadas tem promovido a degradação progressiva dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo comprometendo sua funcionalidade, capacidade produtiva e o fornecimento de serviços ecossistêmicos essenciais à sustentabilidade dos sistemas agrícolas (LERNER et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2021; VINHOLIS et al., 2021; CAMILO COTRIM et al., 2022).

A degradação promove impactos negativos sobre os atributos do solo com destaque para a redução da fertilidade, principalmente no que se trata de macronutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além da diminuição da matéria orgânica e do pH, os quais são fundamentais para o crescimento e produtividade das plantas (NASCIMENTO et al., 2024). Além disso, o aumento da densidade do solo, da resistência à penetração, a redução da porosidade e da agregação dos solos comprometem a estrutura do solo e sua capacidade de suporte às atividades agropecuárias (REINERT; REICHARDT, 2001; MORAES et al., 2014; PEREIRA; THOMAZ, 2014; ROCHA et al., 2015; RODRIGUES et al., 2016).

A busca por estratégias que reduzam a degradação dos solos em áreas de pastagem e aumentem sua produtividade tem sido estudada ao longo de anos, sendo a adoção de práticas conservacionistas como o sistema de plantio direto (SPD) amplamente recomendadas (FERNANDES; TEJO; ARRUDA, 2019; KASSAM; FRIEDRICH; DERPSCH, 2019).

O SPD, ao minimizar o revolvimento do solo, preservar os resíduos vegetais na superfície e promover o uso de plantas de cobertura, contribui para a melhoria da estrutura do solo, o incremento da matéria orgânica e a proteção contra processos erosivos (CAMILO COTRIM et al., 2022; LAXMAN, et al., 2024). Além disso, quando associado à diversificação de culturas, potencializa a reciclagem de nutrientes, o controle de plantas daninhas, a melhoria da infiltração de água e a dinâmica dos serviços ecossistêmicos (CARVALHO et al., 2017; SILVA et al., 2018).

A análise dos impactos decorrentes das práticas de manejo nos sistemas agrícolas pode ser realizada por meio de indicadores de qualidade do solo (FREITAS et al., 2017). Esses parâmetros são sensíveis às alterações promovidas

pelos diferentes usos e manejos do solo, sendo considerados ferramentas confiáveis na avaliação da degradação ou melhoria das condições edáficas ao longo do tempo, sendo os macronutrientes, pH e matéria orgânica indicadores químicos, enquanto a densidade, porosidade, estabilidade de agregados e a resistência à penetração do solo alguns dos indicadores físicos utilizados para estimar a qualidade do solo (SILVA et al., 2020; SILVA et al., 2024).

No Recôncavo da Bahia, região caracterizada pela agricultura familiar, pela presença de sistemas pecuários mistos, relevo suavemente ondulado e predominância de Latossolos de média a baixa fertilidade natural (RIBEIRO, 1998; REZENDE, 2000; SANTOS et al., 2018), a combinação de pastagens antigas e manejo convencional pode intensificar a compactação, a redução da infiltração e a perda de matéria orgânica, e comprometer a produtividade e a resiliência dos sistemas.

Diante desse contexto edafoclimático e socioeconômico, este estudo partiu da hipótese de que a adoção do SPD, associado à diversificação de espécies agrícolas, contribui significativamente para a melhoria da qualidade do solo em áreas de pastagens degradadas, por meio da recuperação dos indicadores físicos e químicos do solo. Assim, objetivou-se avaliar os indicadores físicos e químicos do solo sob cultivo de espécies agrícolas em plantio direto, em uma área de pastagem degradada no Recôncavo da Bahia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área estudada

O estudo foi conduzido no Setor de Forragicultura no Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB/UFRB), localizado no município de Cruz das Almas, na Bahia, Nordeste do Brasil.

A região faz parte dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil, com clima do tipo Af, classificado como tropical chuvoso de floresta, com temperatura média anual de 24,2°C, pluviosidade média mensal superior a 60 mm e anual de 1500 mm, concentrados entre os meses de março e agosto, enquanto de setembro a fevereiro há uma tendência de períodos prolongados de estiagem (SILVA et al.,

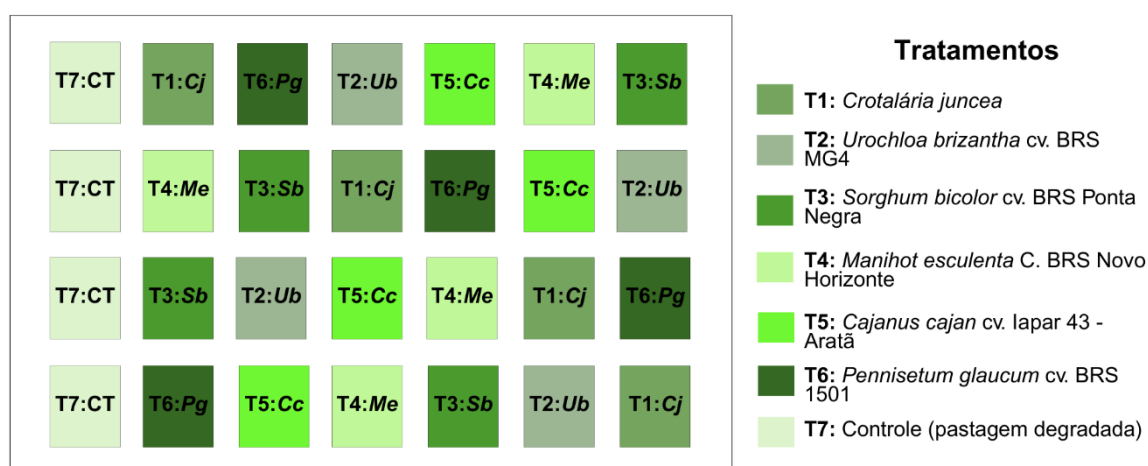
2016), e umidade relativa do ar de aproximadamente 82% (KÖPPEN; GEIGER, 1948).

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrocoeso (SANTOS et al., 2018) e a área encontrava-se em pousio há aproximadamente um ano, estando em processo de degradação, sem manutenção. A área experimental possuía dimensão de 44x30 m (largura x comprimento), sendo 560 m² área útil de parcelas.

2.2. Organização experimental, amostragem e indicadores avaliados

O estudo foi realizado em delineamento de blocos casualizados, constituído de sete tratamentos, T1: Crotalária (*Crotalária juncea* L.), T2: Braquiária (*Urochloa brizantha* cv. MG4), T3: Sorgo (*Sorghum bicolor* cv. BRS Ponta Negra), T4: Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz BRS Novo Horizonte), T5: Feijão guandu (*Cajanus cajan* L. cv. Iapar 43-Aratã), T6: Milheto (*Pennisetum glaucum* cv. BRS 1501) e T7: Controle (pastagem degradada), com quatro repetições (blocos), totalizando 28 parcelas experimentais. Cada parcela possuía quatro metros de comprimento e cinco metros de largura (4x5), compreendendo 20m², com corredores de dois metros entre parcelas (Figura 1).

Figura 1. Croqui experimental dos tratamentos implantados em campo no sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia



Fonte: GONÇALVES (2025)

Antes da instalação do experimento, foi realizada a limpeza da área utilizando roçadeira costal, seguido da aplicação do herbicida Roundup® (2 L ha⁻¹) e também do herbicida Tordon Ultra (3 L ha⁻¹) afim de eliminar a vegetação

espontânea e reduzir a competição com as culturas de interesse. Adicionalmente, foi realizado o controle de formigas cortadeiras com a aplicação do inseticida Regent® 800 WG (2 g L⁻¹), com um volume de calda de 200 L ha⁻¹ nos bancos de entrada dos formigueiros, utilizando pulverizador costal.

A correção da acidez do solo foi realizada no primeiro ano experimental, antes da implantação das culturas, com base no método de saturação por bases (V%) recomendado para cada espécie cultivada. A necessidade de calagem foi calculada para elevar a saturação por bases a 50% para Mandioca, 60% para Crotalária, Braquiária e Sorgo, 65% para Milheto e 70% para Feijão guandu. Para atender a essas exigências, foram aplicadas doses de 4,0 t ha⁻¹, 7,2 t ha⁻¹, 6,5 t ha⁻¹, 5,9 t ha⁻¹, 7,0 t ha⁻¹ e 8,2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 92%), respectivamente, para as culturas citadas anteriormente, sendo essas quantidades divididas entre as quatro parcelas de cada tratamento e aplicadas à lanço.

A adubação de cobertura com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) foi realizada a lanço nos dois anos agrícolas, de forma individualizada para cada parcela, 15 dias após o plantio (Tabela 1 e Tabela 2).

Tabela 1. Adubação química de cobertura realizada nas parcelas experimentais no primeiro ano agrícola

Tratamentos	Parcelas	N	P ₂ O ₅ K ₂ O	
			----- kg ha ⁻¹ -----	
<i>Crotalária juncea</i>	1	-	20	20
	8, 16 e 24	-	40	30
<i>Urochloa brizantha</i>	2 e 11	80	-	20
	13	80	-	40
	22	80	70	40
<i>Sorgo bicolor</i>	3	100	-	120
	12	100	120	120
	17 e 19	100	150	180
<i>Manihot esculenta</i>	4 e 18	30	20	20
	9 e 20	30	20	30
<i>Cajanus cajan</i>	5	-	20	30
	10 e 14	-	40	30
	21	-	20	20
<i>Pennisetum glaucum</i>	6	80	-	-
	7	80	-	50
	15	80	50	50
	23	80	80	50

Parcelas: parcelas identificadas, da direita para a esquerda, no croqui de campo. N: nitrogênio; P₂O₅: fósforo; K₂O: potássio

As quantidades de nutrientes foram estabelecidas seguindo as recomendações do Manual de Recomendação para o Uso de Corretivos e

Fertilizantes para o Estado de Minas Gerais (ALVAREZ et al., 1999) e do Boletim Técnico da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (PEREIRA FILHO et al., 2016), considerando um sistema de produção de baixo nível tecnológico. Como fontes de nutrientes foram utilizados fertilizantes formulados NPK na proporção 4-14-8, além de ureia, cloreto de potássio (KCl) e superfosfato simples (SS).

No segundo ano de implantação dos tratamentos, as parcelas experimentais de cada cultura receberam a mesma dose de adubação de manutenção, com o objetivo de uniformizar o conteúdo nutricional (Tabela 2).

Tabela 2. Adubação química de cobertura realizada nas parcelas experimentais no segundo ano agrícola

Tratamentos	Parcelas	N	P ₂ O ₅ K ₂ O	
			----- kg ha ⁻¹ -----	
<i>Crotalária juncea</i>	1, 8, 16 e 24	-	60	60
<i>Urochloa brizantha</i>	2, 11, 13 e 22	50	40	40
<i>Sorgo bicolor</i>	3, 12, 17 e 19	80	80	80
<i>Manihot esculenta</i>	4, 9, 18 e 20	40	80	60
<i>Cajanus cajan</i>	5, 10, 14 e 21	-	60	60
<i>Pennisetum glaucum</i>	6, 7, 15 e 23	80	80	80

Parcelas: parcelas identificadas, da direita para a esquerda, no croqui de campo. N: nitrogênio; P₂O₅: fósforo; K₂O: potássio

A semeadura das culturas foi realizada em cinco linhas de plantio, com espaçamento de 0,7 m entre linhas e a quantidade de sementes utilizada foi calculada conforme recomendação técnica para cada espécie: 12 kg ha⁻¹ para o Milheto, 10 kg ha⁻¹ para o Sorgo, 6 kg ha⁻¹ para a Braquiária, 25 kg ha⁻¹ para a Crotalária e 20 kg ha⁻¹ para o Feijão guandu.

Para o tratamento mandioca, o plantio foi realizado de forma manual, com manivas de 0,2 m de comprimento, em covas com 0,1 m de profundidade. As manivas da cultivar BRS Novo Horizonte foram adquiridas junto à Embrapa Mandioca e Fruticultura (ano 1) e à Fazenda Experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (ano 2).

Para todas as análises realizadas, o Ano 1 corresponde à caracterização inicial dos indicadores do solo, anteriormente à implantação das culturas, enquanto o Ano 2 corresponde às avaliações efetuadas após a condução de dois ciclos sucessivos de cultivo.

Para fins de análises, amostras deformadas de solo foram coletadas nas camadas de 0 - 0,2 m e 0,2 a 0,4 m de profundidade, secas ao ar e peneiradas em

malha 2 mm. O solo também foi amostrado com estrutura preservada utilizando um amostrador do tipo Uhland e anéis volumétricos com dimensões de (0,05 x 0,05 m).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, segundo Day (1965), através de agitação rápida com auxílio da coqueteleira, numa operação de 15 minutos por amostra, sendo a argila total obtida empregando NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico.

A Densidade de partículas (DP) foi determinada pelo método do balão volumétrico utilizando álcool etílico, através da metodologia proposta por Blake e Hartge (1986), equação 1:

$$DP = \frac{ma}{(Vt - Vu)} \quad (1)$$

onde:

DP: densidade de partículas, em Mg dm⁻³;

ma: massa de amostra seca, em g;

Vt: volume total aferido do balão, em ml;

Vu: volume utilizado para completar o balão com a amostra, em ml.

A estabilidade dos agregados foi determinada em via úmida utilizando jogo de peneiras de 2,00; 1,00; 0,50; 0,25 e 0,105 mm de diâmetro de malha, em um tamisador de movimentos verticais a 45 oscilações por minuto, durante 15 minutos, seguindo a metodologia proposta por Yoder (1936), modificada por Grohmann (1960). A partir dos resultados encontrados, foi calculada a estabilidade de agregados, sendo representado pelo diâmetro médio ponderado (DMP), equação 2:

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^n (xi \cdot wi)}{\sum_{i=1}^n wi} \quad (2)$$

onde:

DMP: diâmetro médio ponderado (mm);

xi: diâmetro médio das classes entre peneiras (mm);

wi: massa de solo seco em cada classe (g).

A densidade do solo (DS) foi obtida através da relação massa/volume, utilizando o método do anel volumétrico proposto por Blake e Hartge (1965), equação 3:

$$DS = \frac{M_s}{V_t} \quad (3)$$

onde:

DS: densidade do solo (Mg m^{-3});

m: massa de solo seco a 105°C (mg);

v: volume do anel (m^3).

A microporosidade foi obtida a partir do método da mesa de tensão (TEIXEIRA et al., 2017), a uma tensão de 60 cm de coluna de água, equivalente à tensão de -6 kPa, para retirada de toda a água presente nos macroporos. Dessa forma, o volume de microporos (MIP) é igual a umidade no potencial matricial de -6 kPa e a diferença existente entre os valores de VTP e MIP é igual à macroporosidade (MAP).

$$\text{MIP} = \frac{(M_{60} - m)}{v} \quad (4)$$

em que:

MIP – microporosidade, $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$;

M60 – massa de solo úmido na tensão de 60 cm de coluna de água, mg;

m – massa de solo seco a 105°C , mg;

v – volume do anel, m^3 .

A resistência à penetração do solo (RP) foi determinada em campo empregando o penetrômetro de Impacto Modelo IAA/Planalsucar – Stolf, realizada desde a superfície do solo até uma profundidade de 0,65 m, com umidade gravimétrica de 1,25% (Ano 1) e 2,90% (Ano 2), seguindo a metodologia proposta por Stolf (1991).

Para as avaliações químicas, o pH foi medido em solução de água destilada, na relação 1:2,5 solo:água, utilizando para leitura o pHmetro de bancada

Tecnal, os macronutrientes cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por complexometria, fósforo (P), potássio (K) e sódio (Na) extraídos a partir da solução de Mehlich⁻¹ sendo o primeiro determinado por espectrofotometria, e os dois últimos por espectrofotometria de chama. Além disso, foram determinadas a acidez potencial (H + Al) realizada com a extração com acetato de cálcio e determinação volumétrica e o alumínio (Al) determinado a partir da extração com cloreto de potássio (KCl) e titulação com NaOH. Mediante aos resultados encontrados foram calculadas a soma das bases trocáveis (SB), a capacidade de troca catiônica efetiva (t), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), a porcentagem de saturação por bases (V%) e a porcentagem de saturação por alumínio (m%) (TEIXEIRA et al., 2017).

Para a determinação do carbono orgânico total (COT) foi empregada a metodologia proposta por Walkley e Black (1934), modificada por Yeomans e Bremner (1988), empregando dicromato de potássio, uma fonte externa de calor e titulação com sulfato ferroso amoniacal. Após isso, utilizou-se o fator $f=1,724$ para transformar COT em Matéria Orgânica (MO).

2.3 Análise estatística

Por apresentarem características distintas, os tratamentos foram analisados de forma independente. Assim, foi realizada uma análise descritiva limitando-se as comparações apenas entre os tratamentos iguais nos anos avaliados. Em acréscimo, para avaliar a similaridade entre os atributos químicos, físicos e os tratamentos implantados foi realizada uma análise multivariada por meio do método de agrupamento de Cluster Analysis, utilizando a ligação média entre grupos UPGMA (*Unweighted Pair-Group Method with Arithmetic Mean*) (MAECHLER, 2010; MINGOTI, 2013).

Posteriormente, foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP) com o objetivo de reduzir a dimensionalidade dos dados e identificar padrões de correlação entre as variáveis analisadas. As análises multivariadas foram realizadas no software R, utilizando os pacotes *FactoMineR* e *Factoextra* (LÊ et al., 2008; R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação textural do solo realizada no ano 1 mostrou que o solo possui textura franco argilo-arenosa (Tabela 3). Os solos da região denominada Tabuleiros Costeiros encontrados sobre o Terciário do Grupo Barreiras são, em sua maioria, classificados como Latossolos e Argissolos (JACOMINE, 1996; RIBEIRO, 1998), e caracterizados conforme a sua fração granulométrica predominante, sendo de textura franco argila-arenosa quando há equilíbrio entre areia e argila, geralmente com teor de argila entre 15% e 35% (RIBEIRO, 1998; SANTOS et al., 2018).

Tabela 3. Caracterização textural do solo avaliado na profundidade de 0 a 0,2 m antes e após dois ciclos de implantação dos tratamentos

Tratamentos	AT	Argila	Silte	DP
	----- g kg ⁻¹ -----			Mg m ⁻³
Ano 1				
Crotalária	692,70	236,40	70,90	2,51
Braquiária	711,74	266,75	21,51	2,56
Sorgo	773,08	217,30	9,62	2,46
Mandioca	755,47	231,00	13,53	2,57
Feijão guandu	744,33	241,40	14,27	2,50
Milheto	782,59	212,10	5,31	2,47
Controle	730,66	230,20	39,14	2,57
Ano 2				
Crotalária	739,50	231,25	29,25	2,47
Braquiária	708,32	256,55	35,13	2,47
Sorgo	740,16	239,55	20,30	2,42
Mandioca	742,96	236,80	20,24	2,42
Feijão guandu	736,96	197,25	65,80	2,45
Milheto	763,67	220,65	15,68	2,44
Controle	744,37	178,05	77,58	2,44

AT: areia total; DP: densidade de partículas; Ano 1: solo antes da implantação dos tratamentos; Ano 2: solo após dois anos de implantação dos tratamentos

Resultado semelhante foi observado na profundidade de 0,2 a 0,4 m (Tabela 4), não havendo mudança na classificação textural do solo, evidenciando sua homogeneidade ao longo do perfil, característica marcante dos Latossolos Amarelos (JACOMINE, 1996). Esse resultado era esperado, uma vez que alterações na classificação textural do solo em curtos períodos, como o intervalo de dois anos deste estudo, requerem processos de adição, remoção ou deposição de material exógeno (CENTENO et al., 2017), o que não ocorreu na área avaliada. A dinâmica das frações granulométricas do solo é predominantemente influenciada por processos geológicos e pedogenéticos de longa duração, sendo pouco

suscetível a mudanças significativas em curtos intervalos de tempo sem que haja intervenções antrópicas (SANTOS et al., 2018).

Tabela 4. Caracterização textural do solo avaliado na profundidade de 0,2 a 0,4 m antes e após dois ciclos de implantação dos tratamentos

Tratamentos	AT	Argila	Silte	DP
	-----	g kg ⁻¹ -----		Mg m ⁻³
Ano 1				
Crotalaria	758,08	169,50	72,42	2,52
Braquiária	771,26	201,30	27,44	2,58
Sorgo	777,65	203,50	18,85	2,46
Mandioca	733,55	235,55	30,90	2,49
Feijão guandu	756,46	229,20	14,34	2,53
Milheto	775,84	205,10	19,06	2,53
Controle	716,65	260,15	23,20	2,54
Ano 2				
Crotalaria	747,74	225,30	26,96	2,49
Braquiária	756,96	200,65	42,39	2,45
Sorgo	749,16	202,85	47,99	2,44
Mandioca	739,93	226,70	33,37	2,48
Feijão guandu	752,61	220,70	26,69	2,46
Milheto	746,94	210,30	42,76	2,45
Controle	699,42	229,55	71,03	2,39

AT: areia total; DP: densidade de partículas. Ano 1: solo antes da implantação dos tratamentos; Ano 2: solo após dois anos de implantação dos tratamentos

Os Latossolos Amarelos são comuns em regiões tropicais e caracterizam-se pela baixa fertilidade natural, alta acidez, baixa CTC e elevada suscetibilidade à compactação (RIBEIRO, 1998; REZENDE, 2000; SANTOS et al., 2018), especialmente na ausência de manejo adequado, sendo essas características frequentemente observadas em áreas de pastagens degradadas, onde o uso de maquinário pesado, associado à vegetação esparsa e pisoteio animal, favorecem a degradação do solo, dificulta a infiltração de água, o crescimento radicular, a absorção de nutrientes e, conseqüentemente, o crescimento das culturas (VAN ANTWERPEN et al., 2022; CHUKWUEMEKA et al., 2024).

Para a DP observou-se valores entre 2,39 e 2,58 Mg m⁻³ e, embora não seja uma variável diretamente afetada pelos processos de degradação do solo, sua interação com outros atributos físicos, faz com que variações nesse atributo afetem a estimativa de poros, que influencia a aeração, retenção de água e crescimento radicular.

Na literatura, valores próximos a 2,65 Mg m⁻³ são amplamente utilizados como referência padrão para a Dp em solos minerais (SKOPP, 2000). No presente

estudo, os resultados observados foram ligeiramente inferiores a esse padrão, porém bastante próximos, indicando coerência com a composição mineralógica natural do solo estudado, principalmente devido a presença de quartzo, embora as pequenas variações entre os tratamentos possam ser decorrentes dos teores de matéria orgânica (SILVA; DUARTE, 1980).

Os resultados encontrados para a densidade do solo (DS), porosidade total (PT), macroporosidade (MAP), microporosidade (MIP), diâmetro médio ponderado (DMP) e resistência à penetração (RP) na profundidade de 0 a 0,2 m (Tabela 5), indicam modificações em função dos tratamentos ao longo dos dois anos avaliados.

Tabela 5. Indicadores físicos do solo avaliados na profundidade de 0 a 0,2 m em antes e após dois ciclos de implantação dos tratamentos

Tratamentos	DS Mg m ⁻³	PT -----	MAP m ³ m ⁻³ -----	MIP	DMP mm	RP MPa
Ano 1						
Crotalária	1,66	0,29	0,12	0,17	2,33	4,19
Braquiária	1,68	0,29	0,11	0,18	2,54	3,31
Sorgo	1,69	0,27	0,10	0,17	2,50	4,03
Mandioca	1,63	0,29	0,11	0,17	2,39	4,33
Feijão guandu	1,60	0,28	0,11	0,17	2,70	3,10
Milheto	1,64	0,30	0,09	0,20	2,64	4,50
Controle	1,38	0,41	0,27	0,14	2,33	4,22
Ano 2						
Crotalária	1,50	0,35	0,16	0,19	2,60	3,51
Braquiária	1,50	0,35	0,15	0,20	2,97	3,07
Sorgo	1,57	0,33	0,14	0,19	2,85	3,17
Mandioca	1,60	0,32	0,13	0,19	2,71	3,04
Feijão guandu	1,55	0,34	0,14	0,20	2,75	2,95
Milheto	1,61	0,33	0,12	0,21	3,02	4,04
Controle	1,63	0,31	0,07	0,24	2,31	4,51

DS: densidade do solo; PT: porosidade total; MAP: macroporosidade; MIP: microporosidade;; diâmetro médio ponderado; RP: resistência à penetração; Ano 1: solo antes da implantação dos tratamentos; Ano 2: solo após dois anos de implantação dos tratamentos

Observou-se redução na DS em todos os tratamentos ao longo do tempo, indicando uma melhoria na estrutura do solo, com destaque para os tratamentos com Braquiária, Crotalária e Sorgo que apresentaram redução de 0,18 Mg m⁻³, 0,16 Mg m⁻³ e 0,12 Mg m⁻³, respectivamente (Tabela 4). Costa et al. (2020) observaram redução na DS em camadas superficiais ao avaliarem indicadores de qualidade do solo em um Latossolo Amarelo sob plantio de culturas de adubação verde, associando essa redução à deposição de resíduos vegetais, uma vez que ao final do seu ciclo, as culturas foram cortadas e deixadas sobre o solo, assim como

realizado nesse estudo. Além disso, indicaram que a maior presença de raízes dessas culturas em superfície proporciona essa redução em atributos diretamente ligados à compactação do solo, como a DS.

A DS é um dos indicadores mais suscetíveis à alterações de manejo, sendo seu aumento frequentemente ocasionado pelo pisoteio animal e pela utilização de maquinário pesado, especialmente em áreas de pastagem (AVILA et al., 2025). Embora a área estudada não tenha sido recentemente impactada por essas práticas, ela possui histórico de uso em sucessivos ciclos de cultivo com intervenções como aração, gradagem e limpeza mecânica.

O Departamento de Agricultura dos Estados Unidos – USDA (1999) destaca que valores de DS inferiores a $1,10 \text{ Mg m}^{-3}$ são ideais para práticas agrícolas em solos de textura franco-argilo-arenosa, enquanto valores acima de $1,49 \text{ Mg m}^{-3}$ ocorrem restrições para o crescimento das culturas e acima de $1,58 \text{ mg m}^{-3}$ tornam-se limitante as culturas. Em acréscimo, Reinert e Reichardt (2001) destaca também que valores de DS em torno de $1,65 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos arenosos podem ser limitantes e restringir o desenvolvimento radicular das culturas.

Nesse estudo, tratando-se de um solo de textura média a arenosa, os resultados obtidos indicam que a DS encontra-se na faixa restritiva ou limitante ao crescimento das culturas em todos os tratamentos (Tabela 5). Embora os resultados após o manejo e implantação dos tratamentos não tenham atingido a faixa considerada ideal para a DS, é possível observar ao longo do tempo, uma redução progressiva deste atributo, consequência do cultivo das espécies implantadas, em especial nos tratamentos Crotalária e Braquiária, com redução de aproximadamente 10% da DS. Esse processo de diminuição da DS reflete a melhoria gradual da qualidade do solo, evidenciando que a recuperação das pastagens ocorre de forma lenta ao longo dos ciclos de cultivo.

A PT aumentou em todos os tratamentos sugerindo melhor distribuição dos poros no perfil do solo, sendo os melhores resultados observados nos tratamentos Crotalária e Sorgo com aumento de $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, Feijão guandu $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e Braquiária com aumento de $0,05 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, isso pode estar associado ao desenvolvimento do sistema radicular mais agressivo dessas culturas, principalmente nas camadas mais superficiais (Tabela 5).

Em seus estudos relacionados ao cultivo de leguminosas como Feijão guandu e Crotalária como plantas de cobertura para melhoria da qualidade do solo

Imbana et al. (2021) encontraram valores de PT entre 0,37 e 0,42 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, resultado levemente superior ao encontrado nesse estudo. Segundo Melo Filho, Souza e Souza (2007) e Rodrigues et al. (2016) valores de PT menores que 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ são críticos para os solos arenosos, dificultando o crescimento radicular das plantas.

Assim como os valores encontrados por Imbana et al. (2021), os resultados observados nesse estudo indicam que não havia limitação ao crescimento das plantas antes mesmo da implantação dos tratamentos levando em consideração o valor de referência estabelecido por esses autores. Entretanto, a elevação da PT após dois ciclos de implantação dos tratamentos é significativamente benéfica às culturas implantadas.

No presente estudo, o Sorgo, a Crotalária e a Braquiária foram os tratamentos que apresentaram maiores incrementos na MAP do solo 0,04 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, 0,04 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e 0,03 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ (Tabela 5), respectivamente, sendo os mais eficazes para melhorar a estrutura do solo em termos de espaço poroso essencial ao crescimento das raízes e à movimentação de água e ar em superfície.

Para MIP também foi possível observar incrementos entre os tratamentos, refletindo um aumento na capacidade de retenção de água do solo, sendo Feijão guandu, Crotalária e Sorgo os tratamentos que mais influenciaram no resultado com incremento de 0,03 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, 0,02 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ e 0,02 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, respectivamente (Tabela 5). Com média muito próxima ao Sorgo, o tratamento Braquiária também apresentou resultado positivo no que diz respeito a MIP, refletindo em um aumento de 0,02 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ para esse indicador.

Para o DMP observou-se aumento após a implantação dos tratamentos, o que indica melhorias na estabilidade dos agregados e, conseqüentemente, na qualidade física do solo, sendo os melhores desempenhos encontrados nos tratamentos Braquiária (+0,43 mm), seguida pelo Milheto (+0,38 mm) e pelo Sorgo (+0,35 mm) (Tabela 5), evidenciando a eficácia dessas culturas na promoção da estabilidade estrutural do solo, especialmente em áreas anteriormente compactadas e degradadas. Valores de DMP inferiores a 2,30 mm representam solos susceptíveis ao processo erosivo (PEREIRA; THOMAZ, 2014). Todos os resultados encontrados nesse estudo são superiores ao valor considerado como referência por esses autores, entretanto, ainda são próximos ao valor de referência, indicando que o solo está em processo inicial de recuperação, fato que exige a manutenção contínua de práticas conservacionistas.

Quanto a RP, houve alteração desse indicador em todos os tratamentos (Tabela 5) apontando a redução da compactação, o que sugere melhor desenvolvimento das culturas implantadas. Os tratamentos que apresentaram melhores resultados foram Mandioca, Sorgo e Crotalária, sendo o maior destaque para o tratamento Mandioca com redução de 1,29 MPa, fato decorrente do seu sistema radicular vigoroso e profundo, que pode promover maior ruptura de camadas compactadas, especialmente em áreas de pastagens degradadas.

Ao avaliar o comportamento de espécies de plantas de cobertura como a Crotalária no condicionamento químico e físico de um Argissolo Vermelho distrófico no município de Lavras - MG, Cardoso et al. (2013) constataram que as plantas de cobertura reduziram a RP até a camada de 0,25 m, indicando que esse efeito pode ser devido ao desenvolvimento do sistema radicular da cultura e posterior decomposição, corroborando com o resultado obtido nesse estudo, visto que a Crotalária, assim como a Mandioca, possuem sistemas radiculares agressivos, que penetram as camadas do solo descompactando-o ao longo do tempo.

Embora tenha sido observada uma redução expressiva nos valores médios de RP na camada de 0 a 0,2 m, os resultados encontrados permaneceram superiores a 2,0 MPa, valor considerado limitante ao desenvolvimento de raízes segundo diversos autores (TAYLOR; ROBERTSON; PARQUER, 1966; TORMENA; SILVA; LIBARDI, 1999; MORAES et al., 2014). Assim, apesar dos avanços indicativos de recuperação do solo, a área ainda requer intervenções de manejo adicionais para promover condições físicas mais favoráveis ao desenvolvimento das culturas.

Diferentemente das parcelas onde foram implantadas as culturas, o tratamento Controle apresentou comportamento inverso ao longo do tempo, evidenciando a degradação dos indicadores físicos do solo devido à ausência de manejo. A DS aumentou cerca de $0,25 \text{ Mg m}^{-3}$, enquanto a PT e a MAP apresentaram reduções expressivas ($0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e $0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), indicando perda de poros funcionais para infiltração e aeração (Tabela 5). No entanto, a MIP aumentou ($0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), indicando que o espaço poroso passou a ser dominado por poros pequenos, mais eficientes para armazenar água, porém menos eficientes para a condução/infiltração e aeração do solo, sugerindo redução relativa da macroporosidade (Tabela 5). Além disso, observou-se redução no DMP e elevação na RP, confirmando o aumento da compactação e a limitação ao crescimento

radicular. Esses resultados indicam que na ausência de práticas adequadas de manejo, como no tratamento Controle onde não foi realizado nenhum tipo de intervenção, solos de pastagens degradadas tendem a apresentar piora contínua em suas características físicas.

Resultados semelhantes a camada de 0 a 0,2 m foram encontrados em subsuperfície, na profundidade de 0,2 a 0,4 m (Tabela 6), observando-se melhorias nos indicadores físicos do solo nas parcelas onde foram implantadas às culturas, e degradação no tratamento Controle.

Tabela 6. Indicadores físicos do solo avaliados na profundidade de 0,2 a 0,4 m antes e após dois ciclos de implantação dos tratamentos

Tratamentos	DS Mg m ⁻³	PT -----	MAP m ³ m ⁻³ -----	MIP	DMP mm	RP MPa
Ano 1						
Crotalária	1,67	0,26	0,08	0,19	2,09	1,84
Braquiária	1,59	0,27	0,11	0,17	2,54	1,67
Sorgo	1,70	0,27	0,11	0,17	2,25	1,76
Mandioca	1,62	0,26	0,09	0,17	2,16	1,72
Feijão guandu	1,69	0,26	0,09	0,17	1,99	1,75
Milheto	1,73	0,27	0,09	0,17	2,10	1,96
Controle	1,50	0,37	0,20	0,16	2,62	1,75
Ano 2						
Crotalária	1,47	0,33	0,15	0,19	3,03	1,55
Braquiária	1,53	0,33	0,15	0,18	2,80	1,48
Sorgo	1,61	0,32	0,13	0,19	2,68	1,65
Mandioca	1,49	0,35	0,16	0,19	2,82	1,54
Feijão guandu	1,52	0,33	0,14	0,19	2,97	1,60
Milheto	1,54	0,33	0,13	0,19	3,00	1,56
Controle	1,51	0,34	0,13	0,21	1,92	1,77

DS: densidade do solo; PT: porosidade total; MAP: macroporosidade; MIP: microporosidade; DMP: diâmetro médio ponderado; RP: resistência à penetração; Ano 1: solo antes da implantação dos tratamentos; Ano 2: solo após dois anos de implantação dos tratamentos

Houve redução nos valores de DS e RP, indicando que os tratamentos promoveram a melhoria dos indicadores físicos do solo e, conseqüentemente, a sua qualidade. Assim como na análise da camada superficial (Tabela 5), os valores de DS permaneceram próximos aos valores de referência indicados como limitantes ao crescimento efetivo das culturas, conforme USDA (1999) e Reinert e Reichardt (2001), com destaque para os tratamentos Crotalária, Milheto e Feijão guandu.

Os resultados encontrados para RP demonstraram que em subsuperfície, não havia limitação de crescimento para as culturas antes do estabelecimentos dos tratamentos (TAYLOR; ROBERTSON; PARQUER, 1966; TORMENA, SILVA;

LIBARDI, 1999; MORAES et al., 2014), entretanto, após a implantação das culturas, foi observado redução nesse indicador, evidenciando a melhoria na estruturação do solo, sendo as melhores respostas observadas nos tratamentos Milheto, Crotalária e Braquiária.

Verificou-se elevação nos valores de PT, MAP, MIP e DMP em subsuperfície. Esses resultados indicam que a implantação das culturas melhorou a estrutura do solo, reduzindo a compactação, favorecendo a criação de poros de diferentes dimensões, o que proporciona maior exploração do perfil do solo pelas raízes das plantas e uma melhor absorção de água e nutrientes. Neste sentido, destacam-se os tratamentos Feijão guandu e Mandioca que influenciaram diretamente grande parte dos indicadores do solo nessa profundidade (PT, MAP, MIP e DMP), sendo esse resultado atribuído à decomposição do seu material vegetal que favorece a melhoria da estrutura do solo e, ao crescimento vigoroso de suas raízes, que alcançam e exploram camadas mais profundas do perfil do solo.

De forma similar à camada superficial, verificou-se uma tendência de decréscimo nos valores dos indicadores físicos do solo no tratamento Controle (PT, MAP e DMP), exceto DS, MIP e RP, que apresentaram aumento, indicando a substituição de macroporos mais funcionais por microporos menos eficientes e aumento na DS. Esse comportamento reforça que a ausência de práticas adequadas de manejo em áreas de pousio, em curtos períodos de tempo, contribui para a degradação dos indicadores físicos do solo, comprometendo sua funcionalidade e capacidade produtiva.

Quanto aos atributos indicadores das condições de fertilidade do solo, nos dois anos de avaliação do experimento, houveram alterações importantes na profundidade de 0 a 0,2 m, em função dos diferentes tratamentos utilizados (Tabela 7).

Tabela 7. Indicadores químicos do solo avaliados na profundidade de 0 a 0,2 m antes e após dois ciclos de implantação dos tratamentos

Tratamentos	pH	CE	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	K ⁺	Na ⁺	P	MO	SB	t	T	V	m
	H ₂ O	μS cm ⁻³	----- cmolc dm ⁻³ -----							mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	----- cmolc dm ⁻³ -----		----- % -----	
Ano 1															
Crotalária	4,78	53,25	0,55	0,29	0,24	3,49	0,13	0,52	7,14	0,41	1,49	1,73	4,98	29,92	14,12
Braquiária	5,03	57,50	0,76	0,35	0,16	5,62	0,16	0,61	6,28	0,37	1,87	2,03	7,49	25,02	7,67
Sorgo	4,99	49,75	0,67	0,29	0,24	4,88	0,14	0,50	4,10	0,28	1,60	1,84	6,48	24,63	13,30
Mandioca	4,76	52,25	0,56	0,21	0,20	5,32	0,12	0,50	6,28	0,27	1,39	1,59	6,71	20,68	12,61
Feijão guandu	4,82	58,25	0,63	0,28	0,22	4,77	0,12	0,61	9,10	0,35	1,64	1,86	6,41	25,52	11,97
Milheto	4,90	48,25	0,52	0,23	0,13	5,40	0,15	0,52	8,83	0,30	1,42	1,55	6,81	20,80	8,61
Controle	5,67	41,50	1,04	0,57	0,13	2,86	0,19	0,08	5,18	0,31	1,88	2,02	4,75	39,69	6,62
Ano 2															
Crotalária	4,90	40,25	0,87	0,36	0,22	1,98	0,16	0,11	5,09	0,60	1,50	1,72	3,48	43,09	12,91
Braquiária	5,07	39,00	1,05	0,41	0,22	1,47	0,19	0,14	5,36	0,54	1,78	2,00	3,25	54,82	11,10
Sorgo	5,02	39,75	0,77	0,42	0,24	2,06	0,21	0,08	3,94	0,47	1,48	1,72	3,53	41,80	14,22
Mandioca	4,84	36,33	0,71	0,26	0,44	1,43	0,20	0,11	3,96	0,41	1,27	1,72	2,71	47,09	25,88
Feijão guandu	5,04	41,25	1,09	0,41	0,27	2,09	0,20	0,11	5,30	0,46	1,81	2,08	3,91	46,42	12,84
Milheto	5,05	32,25	0,86	0,36	0,36	1,91	0,19	0,11	4,67	0,45	1,52	1,88	3,43	44,37	18,95
Controle	5,42	35,50	1,26	0,62	0,18	1,95	0,25	0,33	4,61	0,28	2,46	2,63	4,40	55,79	6,76

pH: potencial hidrogeniônico em água; CE: condutividade elétrica; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H+Al: acidez potencial; P: fósforo; Na: sódio; K: potássio; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; t: capacidade de troca catiônica efetiva T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0 V%: porcentagem de saturação por bases m: porcentagem de saturação por alumínio; Ano 1: solo antes da implantação dos tratamentos; Ano 2: solo após dois ciclos de implantação dos tratamentos

Observou-se elevação de pH em todos os tratamentos, exceto no Controle, onde houve leve redução (Tabela 7). Todavia, os valores encontrados tanto para o Ano 1, quanto para o Ano 2, apresentam uma acidez classificada como média a elevada, se mantendo em faixa considerada limitante para a maioria das culturas (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999). Em solos ácidos espera-se a ocorrência de Al^{3+} em níveis tóxicos ao crescimento de plantas, entretanto, esse resultado não foi encontrado nesse estudo, visto que, para Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999) valores de $Al^{3+} \leq 0,20$ e $\leq 0,50$ são considerados baixos.

Os Latossolos Amarelos presentes na área experimental da UFRB caracterizam-se por elevada acidez natural, exigindo manejo corretivo frequente para viabilizar a implantação e condução adequada dos ensaios experimentais. Os valores mais elevados de pH observados na área, como os encontrados no tratamento Controle (Tabela 7), ainda que estejam na faixa considerada ácida para essa variável, podem estar associados à presença residual de corretivos e fertilizantes aplicados em cultivos anteriores, bem como à influência de experimentos conduzidos em áreas adjacentes, refletindo o histórico de uso do solo.

Solos com $pH \leq 5,5$ são geralmente caracterizados pela predominância de formas trocáveis e potencialmente tóxicas de Al^{3+} na solução do solo, o que pode resultar em toxicidade por alumínio, prejudicando o crescimento do sistema radicular e a absorção de nutrientes pela maioria das culturas (RUTKOWSKA et al., 2015). Além disso, solos com baixos valores de pH favorecem a menor disponibilidade de cations básicos no solo e, conseqüentemente, sua baixa fertilidade.

Todos os tratamentos demonstraram incremento nas concentrações de Ca^{2+} , sendo o Feijão guandu o que apresentou o maior incremento no segundo ano ($0,46 \text{ cmolc dm}^{-3}$), seguido pelo Milheto ($0,34 \text{ cmolc dm}^{-3}$). Apesar disso, os valores encontrados tanto antes da implantação dos tratamentos, quanto após, são considerados baixos (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999). O cálcio é o nutriente mais importante para o crescimento das raízes das plantas, sendo as partes mais novas destas, os principais sítios de absorção do cálcio, fazendo desse nutriente essencial ao seu desenvolvimento (GUILHERME; VALE; GUEDES, 2000; MALAVOLTA, 2006).

A concentração de Mg^{2+} também obteve aumento em todos os tratamentos com destaque para o Feijão guandu, Sorgo e Milheto com acréscimo de $0,13 \text{ cmolc dm}^{-3}$. A mandioca apresentou o menor incremento para esse atributo, indicando menor eficiência na reciclagem desse nutriente em superfície. Essa característica decorre de seu sistema radicular mais profundo, com menor exploração da camada arável, e da menor produção de biomassa aérea em comparação a espécies de cobertura como gramíneas e leguminosas, que acumulam e retornam maiores quantidades de Mg^{2+} ao solo via decomposição de resíduos (HOWELER, 1985; BORGES et al., 2025). Embora tenha ocorrido leve elevação nos valores de Mg^{2+} , sua concentração no complexo sortivo do solo ainda é muito baixa (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999).

O tratamento Controle apresentou concentração média de Mg^{2+} , isso pode ser devido também à presença residual de corretivos e fertilizantes aplicados em cultivos anteriores, bem como à influência de experimentos conduzidos em áreas adjacentes, assim como para outros resultados encontrados na Tabela 7, como o pH.

Todos os tratamentos apresentaram redução nas concentrações de fósforo (P) disponível, o que pode estar relacionado à imobilização no solo ou absorção pelas plantas, com destaque para o tratamento Milheto que apresentou o maior decréscimo ($4,16 \text{ mg dm}^{-3}$). Todos os resultados encontrados antes da implantação dos tratamentos (Ano 1) e após (Ano 2) são classificados entre baixos e muito baixos quanto ao P disponível (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999).

O fósforo desempenha papel fundamental nos processos de formação, desenvolvimento e maturação das plantas, sendo essencial para que essas espécies completem adequadamente seu ciclo produtivo. Em climas tropicais como no Recôncavo da Bahia, a formação de solos altamente intemperizados e ácidos como os Latossolos Amarelos favorecem a fixação de P devido a presença de argilas como a caulinita e presença de óxidos de alumínio e de ferro que, em ambientes ácidos, apresentam predominantemente cargas positivas, atraindo ânions como o fosfato (PO_4^{3-}), deixando-o indisponível as plantas (NASCIMENTO et al., 2024).

Os valores obtidos para K^+ indicam que esse elemento se encontra em nível considerado médio a bom no Latossolo avaliado (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999) (Tabela 6). Houve elevação da concentração no solo ao longo

do tempo, indicando melhoria na fertilidade do solo, com destaque para os tratamentos Feijão guandu e Mandioca.

O potássio é o cátion mais abundante nas células vegetais, capaz de formar ligações com complexos orgânicos rapidamente reversíveis, proporcionando rápida liberação desse nutriente, sendo a decomposição de plantas consideradas adubos verdes um grande suprimento desse elemento ao solo (MENDONÇA et al., 2015). Apesar disso, o potássio é um elemento altamente solúvel, sendo perdido facilmente por lixiviação ou escoamento superficial (NASCIMENTO et al., 2024). Rahman et al. (2008) observaram concentrações maiores de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} trocáveis sob plantio direto em comparação ao sistema convencional, atribuindo esses resultados ao processo de menor revolvimento do solo e à presença de cobertura com resíduos culturais, sendo que nos sistemas convencionais a ausência desse manejo possivelmente acarretou o deslocamento do subsolo, menos fértil, para a camada superficial, além da ausência de cobertura vegetal intensificar os processos de lixiviação de nutrientes.

Para o Na^{+} houve redução na concentração em todos os tratamentos, exceto no Controle, com aumento de $0,25 \text{ cmolc dm}^{-3}$. As maiores reduções ocorreram nos tratamentos Feijão guandu e Braquiária. Apesar de não ser comumente interpretado como um elemento essencial à nutrição vegetal em avaliações de fertilidade do solo, à presença de Na^{+} em concentrações elevadas constitui um importante indicador de degradação da qualidade química e física do solo, especialmente em regiões tropicais, onde está comumente associado à ocorrência de salinidade e sodicidade, condições que comprometem a disponibilidade de nutrientes, devido à competição por sítios de troca catiônica e alterações no pH do solo, disponibilidade de água, desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, o desempenho das culturas (STAVI; THEVS; PRIORI, 2021).

Todos os tratamentos promoveram acréscimos no conteúdo de MO, exceto o tratamento Controle. A Crotalária obteve o maior valor final ($0,60 \text{ g kg}^{-1}$) (Tabela 6). Apesar disso, os valores encontrados nos dois anos de avaliação do sistema são considerados muito baixos (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999), resultado já esperado para Latossolos como o deste estudo, que, naturalmente, possuem reduzida concentração de MO.

O fornecimento de matéria orgânica por espécies leguminosas conhecidas como adubos verdes como a Crotalária influencia diretamente na qualidade geral

do solo, uma vez que aumenta a agregação e a estruturação através da criação de bioporos que favorece a melhor absorção de nutrientes, auxiliando no crescimento de plantas. Ao avaliar espécies de cobertura, dentre elas, a Crotalária na profundidade de 0 a 0,2 m e área de pousio, Rossetti et al. (2012) observaram que os valores de MO no solo, embora baixos, foram maiores nos tratamentos com cobertura do solo quando comparados ao pousio, corroborando com os resultados encontrados nesse estudo.

A redução da CE em todos os tratamentos, sugere menor concentração de sais solúveis no solo ao longo do tempo, sendo os tratamentos Braquiária, Feijão guandu e Milheto os que apresentaram as maiores reduções.

A acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) apresentou valores variando entre 2,86 e 5,62 $cmolc\ dm^{-3}$ no Ano 1, antes da implantação das culturas, sendo classificada como média a alta. No segundo ciclo de cultivo, observou-se redução desse atributo para valores entre 1,43 e 2,09 $cmolc\ dm^{-3}$, enquadrando-se na classe baixa de acidez potencial. Essa redução indica melhoria nas condições químicas do solo, possivelmente associada tanto à atuação das culturas utilizadas nos tratamentos, que favoreceram a ciclagem de nutrientes e reduziram processos de acidificação, quanto à realização da calagem, prática que eleva o pH do solo, neutraliza o alumínio tóxico e fornece cálcio e magnésio, contribuindo para a melhoria da fertilidade (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999; CANTARUTTI et al., 2007).

Os tratamentos Controle, Feijão guandu e Milheto apresentaram os maiores incrementos de SB e t (Tabela 7). Os resultados desses indicadores são considerados entre baixo e médio no solo, e são reflexo do aumento de bases e redução do alumínio trocável (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999).

A CTC potencial (T), inicialmente classificada como média no primeiro ano de avaliação, apresentou redução ao longo do tempo, passando a ser considerada baixa. Esse comportamento evidencia a limitação inerente à capacidade de retenção de cátions do solo avaliado, o que demanda estratégias de manejo que favoreçam a manutenção da fertilidade, como o aporte contínuo de matéria orgânica. Observa-se que, embora tenham ocorrido incrementos pontuais em indicadores como cálcio e magnésio trocáveis, a melhoria efetiva da fertilidade em solos degradados é um processo gradual, que exige intervenções constantes ao longo dos anos.

A saturação por bases (V%) (Tabela 7) apresentou elevação, sendo reflexo da melhoria da qualidade do solo em termos de cátions trocáveis, sendo considerada baixa no ano 1 e média no ano 2, enquanto a saturação por alumínio (m%) apresentou variações, refletindo os resultados encontrados para Al e t, entretanto, apesar da sua elevação na maioria dos tratamentos, essa variável é considerada baixa, não apresentando impactos negativos ao solo (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999).

Para a profundidade de 0,2 a 0,4 m os resultados encontrados para pH, apontam que houve redução em subsuperfície para todos os tratamentos, indicando propensão à acidificação (Tabela 8). O tratamento que demonstrou menor redução de pH ao longo do perfil foi Mandioca. Apesar disso, o pH foi superior aos resultados encontrados em superfície, exceto para o tratamento Controle. Esse resultado não era o esperado, visto que existe a tendência de decréscimo desse indicador ao longo do perfil do solo. Carvalho et al. (2015), ao avaliar aspectos da fertilidade dos Latossolos Amarelos no Recôncavo da Bahia observou redução do pH em subsuperfície, atribuindo esse fato a características intrínsecas do solo.

Embora os valores de pH encontrados nessa profundidade estejam superiores aos encontrados em superfície, a acidez é considerada média a elevada, estando grande parte dos nutrientes indisponíveis para as plantas (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999).

Tabela 8. Indicadores químicos do solo avaliados na profundidade de 0,2 a 0,4 m antes e após dois ciclos de implantação dos tratamentos

Tratamentos	pH H ₂ O	CE μS cm ⁻³	Ca ²⁺ ----- cmolc dm ⁻³	Mg ²⁺ ----- cmolc dm ⁻³	Al ³⁺ ----- cmolc dm ⁻³	H + Al ----- cmolc dm ⁻³	K ⁺ ----- cmolc dm ⁻³	Na ⁺ ----- cmolc dm ⁻³	P mg dm ⁻³	MO g kg ⁻¹	SB ----- cmolc dm ⁻³	t ----- cmolc dm ⁻³	T ----- cmolc dm ⁻³	V ----- %	m ----- %
Ano 1															
Crotalária	5,39	52,00	0,75	0,35	0,38	4,66	0,08	0,50	3,78	0,47	1,67	4,42	6,34	26,40	8,55
Braquiária	5,37	48,50	0,72	0,38	0,34	5,07	0,08	0,58	2,50	0,50	1,77	5,20	6,83	25,86	6,54
Sorgo	5,19	50,75	0,75	0,31	0,33	4,70	0,09	0,50	2,18	0,54	1,64	4,92	6,34	25,91	6,78
Mandioca	4,99	55,50	0,69	0,29	0,29	3,78	0,07	0,50	3,51	0,52	1,55	5,36	5,33	29,06	5,40
Feijão guandu	5,29	45,25	0,68	0,31	0,24	4,77	0,07	0,47	3,42	0,55	1,53	6,23	6,30	24,23	3,93
Milheto	5,29	48,75	0,74	0,33	0,38	4,66	0,07	0,47	3,33	0,57	1,61	4,25	6,27	25,63	8,90
Controle	5,36	40,00	0,86	0,43	0,38	3,74	0,15	0,06	4,05	0,41	1,50	3,98	5,25	28,66	9,51
Ano 2															
Crotalária	5,07	30,25	0,99	0,50	0,27	2,06	0,14	0,11	3,66	0,47	1,74	6,53	3,80	45,89	4,09
Braquiária	5,02	28,00	0,85	0,55	0,31	2,17	0,15	0,30	2,86	0,40	1,85	5,95	4,02	46,11	5,24
Sorgo	5,06	29,75	0,94	0,45	0,31	2,13	0,14	0,08	4,46	0,44	1,62	5,20	3,75	43,20	5,99
Mandioca	4,97	32,00	0,84	0,33	0,33	2,53	0,15	0,08	5,12	0,37	1,40	4,19	3,93	35,59	7,96
Feijão guandu	5,07	32,25	1,03	0,46	0,29	2,24	0,17	0,08	5,06	0,44	1,73	5,98	3,87	43,60	4,83
Milheto	5,11	30,25	0,99	0,45	0,24	2,09	0,17	0,11	5,95	0,37	1,72	7,01	3,81	45,06	3,49
Controle	4,68	34,50	1,01	0,43	0,36	1,80	0,19	0,33	3,69	0,41	1,96	5,50	3,76	52,10	6,48

pH: potencial hidrogeniônico em água; CE: condutividade elétrica; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H+Al: acidez potencial; P: fósforo; Na: sódio; K: potássio; MO: matéria orgânica; SB: soma de bases; t: capacidade de troca catiônica efetiva T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0 V%: porcentagem de saturação por bases m: porcentagem de saturação por alumínio; Ano 1: solo antes da implantação dos tratamentos; Ano 2: solo após dois ciclos de implantação dos tratamentos

Crotalária, Braquiária, Sorgo, Milheto e Controle apresentaram redução nas concentrações de Al^{3+} enquanto Mandioca e Feijão guandu apresentaram leve acréscimo (+0,04) (Tabela 8). Embora em subsuperfície seja esperado níveis tóxicos de Al^{3+} nos Latossolos, de acordo com a classificação de Ribeiro, Guimarães e Alvarez V. (1999) os resultados encontrados nesse estudo são considerados baixos. Todavia, destaca-se que todos os tratamentos apresentaram redução expressiva da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), indicando avanço na melhoria das condições químicas do solo. A redução da acidez potencial no solo favorece a maior saturação por bases e menor risco de toxidez por Al^{3+} , demandando com isso, uma menor dose de corretivos quando o solo encontra-se em condições ideais de fertilidade (MALAVOLTA, 2006).

Assim como em superfície (Tabela 7), observou-se aumento das concentrações de Ca^{2+} e Mg^{2+} , com destaque para os tratamentos Feijão guandu e Milheto para Ca^{2+} e Braquiária e Crotalária para Mg^{2+} , sendo esse resultado atribuído à redução da acidez potencial e trocável. Apesar disso, esses elementos ainda são considerados baixos para a maioria dos tratamentos, com exceção dos tratamentos Braquiária e Crotalária que foram considerados médios.

Houve aumento expressivo de Ca^{2+} no tratamento Controle, possivelmente influenciado pelo histórico de manejo anterior. Apesar disso, a concentração encontrada para esse cátion no complexo sortivo do solo ainda é considerado baixo (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999)

Observou-se variação na concentração de P entre os tratamentos avaliados. Entretanto, apesar do ligeiro aumento, esse elemento ainda é limitante no solo, sendo considerado muito baixo (Tabela 8).

Todos os tratamentos apresentaram aumento nos valores de K^+ no solo. Os maiores incrementos foram observados para os tratamentos Feijão guandu e Milheto. Já para a concentração de Na^+ verificou-se redução em todos os tratamentos influenciando no menor risco de ocorrência de problemas relacionados à salinidade e desertificação, com exceção do tratamento Controle, podendo ser devido ao acúmulo de fertilizantes ou efeito dos experimentos adjacentes (Tabela 8).

A concentração de MO apresentou variação entre os tratamentos avaliados, com destaque para as maiores reduções ocorridas nos tratamentos Milheto, Mandioca e Feijão guandu. De modo geral, é esperado que os valores de

MO sejam inferiores nas camadas subsuperficiais do solo, uma vez que a maior concentração de resíduos vegetais e a atividade microbiana ocorrem predominantemente na camada superficial. Essas informações são confirmadas quando se compara as Tabelas 7 e 8, onde no ano 1, antes da implantação dos tratamentos, havia maior concentração de MO em subsuperfície, indicando decomposição de raízes de culturas anteriormente implantadas. Em contrapartida, para o ano 2, após a implantação das culturas, observou-se maior concentração de MO em superfície, resultado atribuído ao cultivo dos tratamentos e a decomposição do material vegetal na camada arável do solo (CARVALHO et al., 2015).

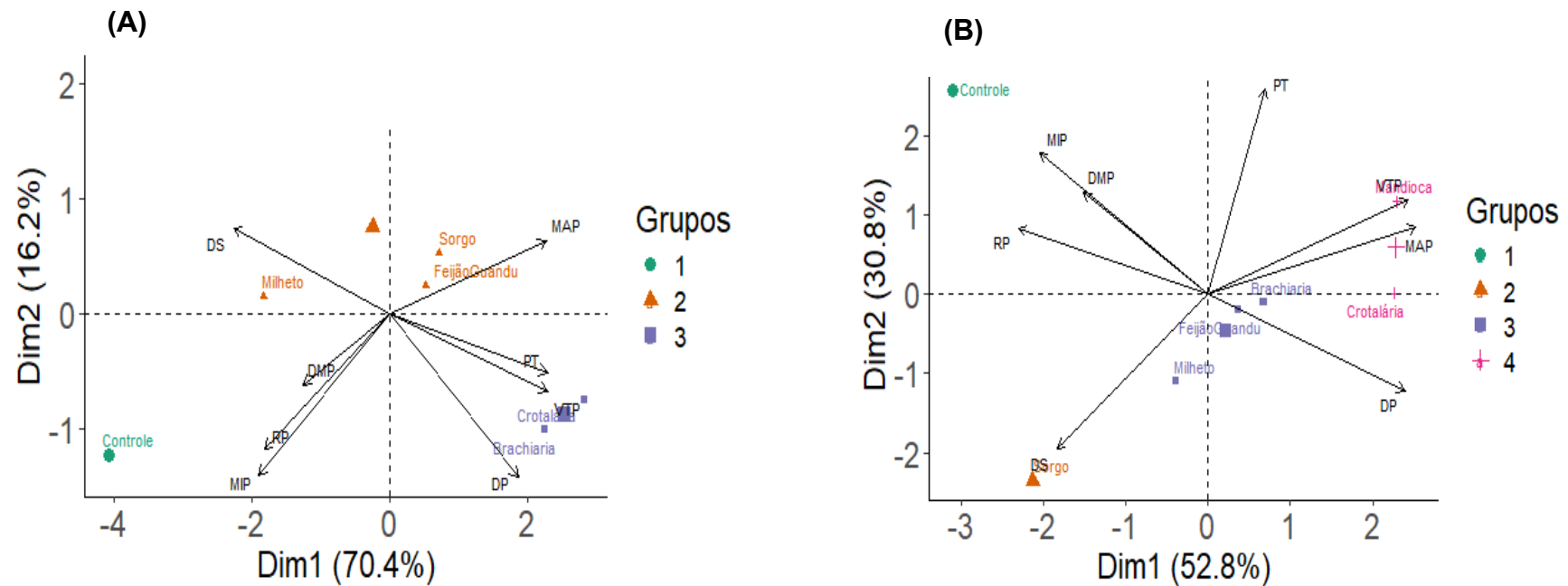
As médias de SB apresentaram variação entre tratamentos, indicando elevação em sua maioria, com exceção de Sorgo e Mandioca. Igual comportamento foi observado para t, com redução nos tratamentos Mandioca e Feijão guandu. A capacidade de troca catiônica (T) e a saturação por bases (V%) aumentaram em todos os tratamentos, principalmente em Braquiária e Sorgo e Braquiária e Controle, respectivamente.

Para a CE observou-se redução em todos os tratamentos, sendo Mandioca e Feijão os que apresentaram as maiores reduções, sugerindo menor concentração de sais solúveis no solo ao longo do tempo. A saturação por alumínio (m%) reduziu expressivamente em grande parte dos tratamentos, sendo mais evidente em Milheto e Crotalária, embora tenha apresentado elevação nos tratamentos Mandioca e Feijão guandu (Tabela 8).

Esses resultados são reflexo das maiores concentrações de cátions básicos como Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , e da redução do Na^{2+} , da acidez potencial e alumínio trocável em subsuperfície. Embora tenham havido melhorias na qualidade do solo, essas variáveis encontram-se entre muito baixo e bom quanto a fertilidade do solo (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ V., 1999).

A avaliação da correlação entre os atributos físicos do solo das camadas de 0 a 0,2 m (Figura 2A) e de 0,2 a 0,4 m (Figura 2B), no primeiro ano de plantio, foi avaliada por meio da análise de componentes principais (ACP), e a similaridade entre os tratamentos pela análise de agrupamento de Cluster (Figura 2).

Figura 2. Agrupamento de Cluêster e análise de componentes principais das médias dos indicadores físicos do solo e dos tratamentos avaliados. DS: Densidade do solo; DP: Densidade de partículas; PT: Porosidade total; MAP: Macroporosidade; MIP: Microporosidade; DMP: Diâmetro médio ponderado; RP: Resistência à penetração. Figuras A) indicadores físicos e tratamentos implantados, profundidade 0 – 0,2 m, Ano 2; B) indicadores físicos e tratamentos implantados, profundidade 0,2 – 0,4 m, Ano 2.



O PC1 e PC2 explicam 86,6% da variabilidade total dos dados evidenciando a adequação do modelo para representar as relações entre as variáveis avaliadas (Figura 2 A). Pelo agrupamento foi possível verificar a formação de três grupos distintos de tratamentos, o Grupo 1 foi composto exclusivamente pelo tratamento Controle, enquanto o Grupo 2 reuniu os tratamentos com Mandioca, Milheto, Sorgo e Feijão guandu. Já o Grupo 3 foi constituído pelos tratamentos com Crotalária e Braquiária. Com a implantação dos tratamentos, observou-se que os componentes do Grupo 2, Sorgo e Feijão guandu, apresentaram correlação com a MAP. Essa associação é coerente com os resultados obtidos (Tabela 5), uma vez que o Sorgo promoveu o maior incremento de MAP entre os tratamentos avaliados ($+0,038 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$).

No caso do Feijão guandu, por se tratar de uma espécie leguminosa, a decomposição de seus resíduos orgânicos favoreceu a incorporação de MO ao solo, contribuindo para a formação de bioporos e o aumento da MAP. Ainda no Grupo 2, o tratamento com Milheto correlacionou-se com a DS, resultado atribuído ao fato de o Milheto ter apresentado o maior valor entre os tratamentos na profundidade avaliada no segundo ano.

Em se tratando da similaridade e correlação entre indicadores físicos e tratamentos em subsuperfície (Figura 2B) os resultados indicaram a formação de quatro grupos distintos, sendo o Grupo 1 composto pelo tratamento Controle, Grupo 2 tratamento Sorgo, Grupo 3 Braquiária, Feijão guandu e Milheto e, o Grupo 4 Crotalária e Mandioca. PC1 e PC2 foram responsáveis por explicar 83,6% da variabilidade total dos dados.

O tratamento Sorgo, único componente do Grupo 2, se correlacionou com DS, resultado atribuído ao fato desse tratamento ter apresentado maior valor dentre os tratamentos avaliados nessa profundidade (Tabela 6) e, pela presença de raízes vigorosas que, ao se desenvolverem, alcançam camadas mais profundas, aplicando pressão suficiente para romper camadas mais compactadas, reduzindo a DS.

Os tratamentos reunidos no Grupo 3 se correlacionaram de forma mais expressiva com DS, DP e MAP, sendo essa correlação atribuída aos resultados encontrados na Tabela 5, onde esses tratamentos tiveram influência positiva sobre esses indicadores (Figura 2B). Para o Grupo 4 observou-se correlação com MAP

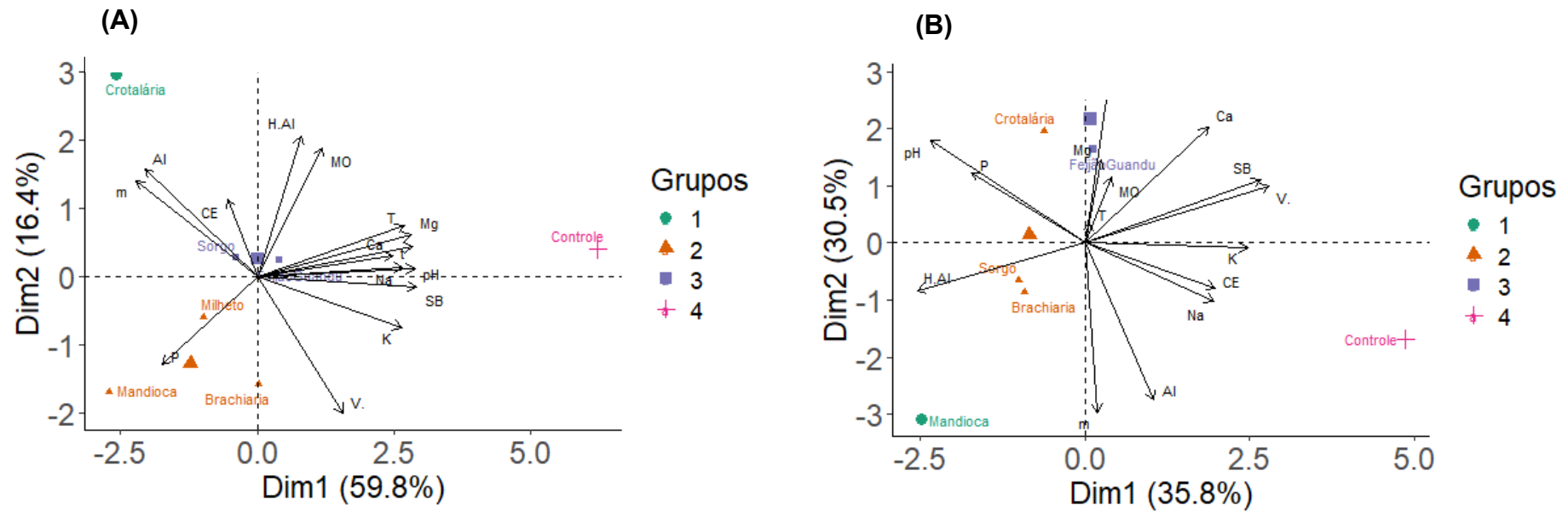
que, assim como a Braquiária, componente do Grupo 3, apresentaram resultados expressivos para esses indicadores (Tabela 5).

O tratamento Controle apresentou-se isolado em relação aos demais tratamentos na ACP, não sendo verificada nenhuma correlação com os indicadores avaliados. Esse comportamento pode ser atribuído ao avançado estágio de degradação do solo associado a esse tratamento, conforme evidenciado nos resultados obtidos durante esse estudo. Vale destacar que mesmo em pousio, a pastagem não foi capaz de se recuperar de forma eficiente, confirmando que a ausência de práticas adequadas de manejo nessas áreas resulta na progressiva deterioração dos indicadores físicos do solo ao longo do tempo.

Para os indicadores químicos do solo na profundidade de 0 a 0,2 m (Figura 3A), pelo agrupamento de Cluster foi possível observar a formação de quatro grupos distintos, sendo o Grupo 1 formado pelo tratamento Crotalária, Grupo 2 Milheto, Braquiária e Mandioca, Grupo 3 Sorgo e Feijão guandu e o quarto grupo composto pelo tratamento Controle.

Quanto à similaridade, o Grupo 1 não se correlacionou com nenhum dos indicadores avaliados. O Grupo 2 correlacionou-se exclusivamente com o indicador P, ao passo que o Grupo 3 apresentou correlação positiva com todos os indicadores, incluindo a saturação por bases (V). Nessa avaliação, PC1 e PC2 explicaram cerca de 76,2% dos resultados.

Figura 3. Análise de componentes principais das médias dos atributos químicos do solo versus tratamentos avaliados. pH (H₂O): potencial hidrogeniônico em água; CE: Condutividade elétrica; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Al: Alumínio; H+Al: Acidez potencial; P: Fósforo; Na: Sódio; K: Potássio; MO: Matéria orgânica; SB: Soma de bases; t: CTC efetiva; T: Capacidade de troca catiônica; V: porcentagem de saturação por bases; m: porcentagem de saturação por alumínio. Figuras A) indicadores químicos e tratamentos implantados, profundidade 0 – 0,2 m, Ano 2; B) indicadores químicos e tratamentos implantados, profundidade 0,2 – 0,4 m, Ano 2.



Em subsuperfície (Figura 3B), a formação dos quatro grupos pode estar associada às diferenças morfofisiológicas das culturas e à sua capacidade de explorar o perfil do solo e ciclar nutrientes. A mandioca (Grupo 1), por apresentar sistema radicular mais profundo e menor produção de biomassa aérea, tende a concentrar a absorção e o acúmulo de nutrientes nos órgãos subterrâneos, com menor influência sobre os atributos químicos avaliados na camada subsuperficial, o que explica a ausência de correlação significativa com os indicadores.

O Grupo 2, formado por Sorgo e Braquiária, apresentou correlação com H + Al, o que pode indicar maior sensibilidade dessas espécies à acidez e sua capacidade de mobilizar bases em condições de baixo pH, possivelmente por meio da exsudação de compostos orgânicos que afetam a solubilidade de alumínio (Figura 3B). A Crotalária, ao se correlacionar com P e pH, pode ter favorecido a disponibilidade de fósforo por meio da fixação biológica de nitrogênio e pela liberação de exsudatos radiculares capazes de mobilizar esse nutriente. No Grupo 3, Feijão guandu e Milheto correlacionaram-se com MO, Mg, T e Ca, o que é coerente com a alta produção de biomassa dessas espécies e sua eficiência em reciclar nutrientes, o Feijão guandu via aporte de resíduos ricos em Ca e Mg e o Milheto pela elevada capacidade de absorção e acúmulo de matéria orgânica, favorecendo a melhoria da CTC (T) e da fertilidade do solo.

O tratamento Controle, assim como observado na camada superficial, não apresentou correlação com nenhum dos atributos químicos do solo, mantendo-se isolado em relação aos demais tratamentos na análise de similaridade. Esse resultado reforça a evidência de que a ausência de práticas de manejo adequadas, como a calagem, a adubação e o manejo dos atributos químicos e físicos do solo, contribui significativamente para a degradação progressiva das áreas de pastagens.

4.CONCLUSÕES

Em área de pastagem degradada no Recôncavo da Bahia, as diferentes espécies agrícolas, quando cultivadas em sistema de plantio direto, melhoraram os atributos físicos do solo: reduziram a densidade, o diâmetro médio ponderado dos agregados e a resistência à penetração; aumentaram a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade. Os atributos químicos permaneceram limitantes.

Crotalária, Mandioca e Braquiária atuaram sobretudo sobre os físicos, enquanto Feijão guandu e Milheto influenciaram mais os químicos. O pousio (Controle) não promoveu recuperação, reforçando a necessidade de manejo ativo.

5. REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A. C. CALAGEM. IN: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; AALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p.43-60.

AVILA, A. C. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; KIRCHHOF, G. Pinelands: Impacts of Different Long-Term Land Uses on Soil Physical Properties in Red Ferrosols. **Land**, v. 14, n. 7, p. 1471, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/land14071471>

BORGES, R.; GIROTO, A. S.; OHREM, B.; BECKMANN, S.; ADEMI, A.; BOECKEM, V.; BOCHMANN, H.; MULLER-LINOW, M.; LENZ, H.; RIBEIRO, C.; WOJCIECHOWSKI, T.; JABLONOWSKI, N. D.; POSTMA, J. A. **Agronomy**, v. 15, n. 353, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy15020353>

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density in methods of soil analysis. **Agronomy**, v.9, n.1, p.374-390, 1965. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c30>

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Particle density. In: Klute, A. Methods of soil analysis: Part 1: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. **The American Society of Agronomy**, p.377-382, 1986. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed>

CAMILO COTRIM, C. F.; DE SÁ, A. S. F.; ALVES, D. P. S.; GONÇALVES, E. V, TEIXEIRA, F. B.; DE PAULA SILVA, J. A.; SILVA BRANCO, M. H.; ALMEIDA, L. M.; CARAMORI, S. S. Qualidade do solo: Relevância e uso de indicadores para o monitoramento. **Revista Agrotecnologia**, v.13, n.2, p.46-65, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31668/agrotec.v13i2.13578>

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, R. B.; ALVAREZ, V. H. V.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.769-850

CARDOSO, D, P. SILVA, M. L. N.; CARVALHO, G. J. FREITAS, D. A. F.; AVANZI, J. C. Espécies de plantas de cobertura no condicionamento químico e físico do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.8, n.3, p.375-382, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v8i3a2421>

CARVALHO, S. R. L.; FADIGAS, F. S.; VILAS BOAS, G. S.; BORGES, A. J. S. Aspectos da fertilidade dos Latossolos Amarelos no Recôncavo da Bahia. **Textura**, v.8, n.15, p.97-108, 2015.

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **PubVet**, v.11, p.1036-1045, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22256/PUBVET.V11N10.1036-1045>

CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O.; TIMM, L. C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, [S.L.], v.4, n.1, p.31, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15210/rbes.v4i1.11576>

CHUKWUEMEKA, I. S.; LI, G.; MO, Y.; JACQUES, K. J. Impacts of microplastics and urbanization on soil health: an urgent concern for sustainable development. **Green Analytical Chemistry**, v.8, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.greeac.2024.100095>

COSTA, R. M.; MATOS, S. S.; SOUSA, R. C. M.; LEITE, M. R. L.; FARIAS, M. F.; FURTADO, M. B.; SERRANO, L. J. P. Indicadores físicos de um latossolo amarelo distrófico sob adubação verde. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.6, p.141-149, 2020. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.006.0013>

DAY, P. R. Particle fractionation and particle-size analysis. In: Black, C. A. **Methods of soil analysis, Part 1: Physical and Mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**, 1965, p.545-567. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1>

FERNANDES, C. H. S.; TEJO, D. P.; ARRUDA, K. M. A. Desenvolvimento do Sistema de Plantio Direto no Brasil: Histórico, Implantação e Culturas Utilizadas. **Uniciências**, v.23, n.2, p.83-88, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2019v23n2p83-88>

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v.26, n.1-2, 2017.

GROHMANN, F. Análise de agregados de solos. **Bragantia**, v.19, n.13, p.201-213, 1960. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87051960000100013>

GUILHERME, L. R. G.; VALE, F. R.; GUEDES, G. A. A. **Fertilidade do Solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes**. Lavras: ESAL/FAEPE, 2000, 171p.

HOWELER, R. H. Potassium Nutrition of Cassava. **Soil Health and Sustainability**, v. 35, 1985. DOI: <https://doi.org/10.2134/1985.potassium.c35>

IMBANA, R.; BLUM, S. C.; AGUIAR, M. I.; SOUSA, G. G.; NDAMI, M.; DABÓ, I. Leguminosas como plantas de cobertura para melhoria da qualidade do solo. **Revista Verde**, v.16, n.4, p.351-357, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v16i4.8861>

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: **Reunião técnica sobre solos coesos dos tabuleiros**, 1996, Cruz das Almas. Pesquisa e desenvolvimento para os Tabuleiros Costeiros: anais. Aracaju: Embrapa CPATC; Embrapa CNPMF; EAUFBA; IGUFBA, 1996. p. 13–24.

KASSAM, A.; FRIEDRICH, T.; DERPSCH, R. 2019. Global spread of conservation agriculture. **International Journal of Environmental Studies**, v.76, n.1, p.29-51, 2019. <https://doi.org/10.1080/00207233.2018.1494927>

KOPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1948.

LAXMAN, T.; YAMUNA, C.; RAJESHWAR REDDY, T.; SUDHAKAR, S. Impact of conservation tillage on soil properties and crop yield: A review. **International Journal of Research in Agronomy**, n.7, v.9, p.862-867, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i9k.2396>

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: An R Package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, v.25, p.1-18, 2008. DOI: <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>

LERNER, A. M.; ZULUAGA, A. F.; CHARÁ, J.; ETTER, A.; SEARCHINGER, T. Sustainable Cattle Ranching in Practice: Moving from Theory to Planning in Colombia's Livestock Sector, **Environmental Management**, v.60, p.176-184, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00267-017-0902-8>

MAECHLER, M. Cluster: **Cluster Analysis Extended Rousseeuw**. 2010. Disponível em: <http://brieger.esalq.usp.br/CRAN/>. Acesso em: 25 mar. 2025.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MELO FILHO, J. F; SOUZA, A. L.V; SOUZA, L. S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo Coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.6, p.1599-1608, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600036>

MENDONÇA, V. Z.; MELLO, L. M. M.; ANDREOTTI, M.; PARIZ, C. M.; YANO, E. H.; PEREIRA, F. C. B. L. Liberação de nutrientes da palhada de forrageiras consorciadas com milho e sucessão com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, n.1, p.183-93, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20150666>

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora (seconded.), UFMG, 2013, 295p.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. Critical Limits of soil penetration resistance in a Rhodic Eutradox. **Revista**

Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.38, n.1, p.288-298, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000100029>

NASCIMENTO, D. B. D.; LOPES, M. L. S.; IZIDRO, J. L. P. S.; BEZERRA, R. C. A.; GOIS, G. C.; AMARAL, T. N. E. D.; DIAS, W. S.; BARROS, M. M. L.; OLIVEIRA A. R. S.; SOBRINHO, J. L. F.; COÊLHO, J. J. Nitrogen, phosphorus, and potassium cycling in pasture ecosystems. **Ciência Animal Brasileira**, v.25, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-6891v25e-76743E>

OLIVEIRA, J. P. C.; CORREIA, D. B.; VERÇOSA, C. J.; FIGUEROA, M. E. V.; CABRAL, C. P.; VITOR, L. N. A.; SANTOS, A. F.; MARTINS, A. S.; TEIXEIRA, L. M.; PEREIRA, G. G.; ANUNCIAÇÃO, J. A. O.; PEREIRA, F. D.; VASCONCELOS, J. M. P. B. L.; SILVA, A. S. O.; FERNANDES, N. S.; OLIVEIRA, P. S.; SAMPAIO, N. K. S.; SANTOS, R. H. L.; BARROS, J. E. L.; SANTOS, M. A. F. A utilização inadequada do solo e seus impactos na degradação das áreas. **Research, Society and Development**, v.10, n.12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.19948>

PEREIRA, A. A.; THOMAZ, E. L. Estabilidade de Agregados em Diferentes Sistemas de Uso e Manejo no Município de Reserva-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.7, n.2, p.378-387, 2014. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.2.p378-387>

PEREIRA FILHO, I. A.; VIANA, G. F.; CASTRO, R. L.; COTA JUNIOR, M. B. G.; PONTES, A. M. **Cultivo do Milheto**. Comunicado técnico. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Sistema de produção, 5ª edição, versão eletrônica, 2016. 116p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: **a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2019. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 02 de nov. 2025.

RAHMAN, M. H.; OKUBO, A.; SUGIYAMA, S.; MAYLAND, H. F. Physical, chemical and microbiological properties of an Andisol as related to land use and tillage practice. **Soil Tillage Research**, v.101, p.10-19, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.05.006>

REZENDE, J. DE O. **Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**, Salvador: Editora SEAGRI-SPA, 2000, 117p.

RIBEIRO, L. P. **Os latossolos amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação**. Salvador: Editora SEPLANTEC, 1998, 99p.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p.43-60.

REINERT, J. D.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: Carlesso, R.; Petry, M.; Rosa, G. & Ceretta, C. A. **Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul**, Santa Maria, 2001, p.114-131

ROCHA, S. P.; PREVEDELLO, J.; REINERT, D. J.; FLEIG, F. D.; VOGELMANN, E. S.; SOARES, J. C. W.; HEINZ, B. B. Propriedades físicas do solo e crescimento de eucalipto implantado em diferentes métodos de preparo do solo. **Scientia Forestalis**, v.43, n.108, p.965-977, 2015. DOI: dx.doi.org/10.18671/scifor.v43n108.20

RODRIGUES, M. S.; SOUZA, C.; LIMA, D. D.; SILVA, S. D. P.; ALVES, D. C.; MACHADO, N. S. Impacto do cultivo do coqueiro irrigado na qualidade física do solo na região semiárida brasileira. **Ciencia del Suelo**, v.34, n.1, p.139-144, 2016.

ROSSETTI, K. V.; ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F.; MATIAS, S. S. R.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos físicos do solo em diferentes condições de cobertura vegetal em área de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.3, p.427-433, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v7i3a1681>

RUTKOWSKA, B.; SZULC, W.; HOCH, M.; SPYCHAJ-FABISIAK, E. Forms of Al in soil and soil solution in a long-term fertilizer application experiment. **Soil Use and Management**, v.31, n.1, p.114-120, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/sum.12150>

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; ARAUJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. edição revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SILVA, A.; SANTOS, F. L. S.; BARRETTO, V. C. M.; FREITAS, R. J.; KLUTHCOUSKI, J. Recuperação de pastagem degradada pelo consórcio de milho, *Urochloa brizantha* cv. marandu e guandu. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.5, n.2, p.39-47, 2018.

SILVA, A. T. DA.; DUARTE, E. F. **Irrigação: fundamentos e métodos**. Itaguaí: UFRRJ, Instituto de tecnologia, Departamento de Engenharia, 1980, p.179.

SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; BATISTA, A. M. A.; SOUSA NETO, A. T.; BARBOSA, J. M. S.; LIMA, A. A. S.; LIMA, A. B. M.; DONATO, A. F. Utilização de atributos físicos e químicos como indicadores de qualidade do solo. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v.17, n.4, p.01-18, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.4-055>

SILVA, M.; VELOSO, C. L.; DO NASCIMENTO, D. L.; DE OLIVEIRA, J.; DE FREITAS PEREIRA, D.; DA SILVA COSTA, K. D. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.7, p.47838-47855, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-431>

SILVA, T. S.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F. **Boletim meteorológico da estação convencional de Cruz das Almas, BA: variabilidade e tendências climáticas**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2016, 72p.

SKOPP, J. M., 2000. Physical properties of primary particles. In: Summer, M.E. (Ed.), **Handbook of Soil Science**. CRC Press, Boca Raton, p.A3-A17

STAVI, I. THEVS, N.; PRIORI, S. Soil Salinity and Sodicity in Drylands: A Review of Causes, Effects, Monitoring, and Restoration Measures. **Frontiers in Environmental Science**, v.9, n.7, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.712831>

STOLF, R. Teoria e teste experimental de fórmulas de transformação de dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.3, p.229-235, 1991.

TAYLOR, H. M.; ROBERTSON, G. M.; PARQUER, J. J. Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. **Soil Science**, v.102, p.18-22, 1966. DOI: <https://dx.doi.org/10.1097/00010694-196607000-00002>

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de Métodos de Análises de Solo**. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2017.

TORMENA, C. A.; DA SILVA, A. P.; LIBARDI, P.L. Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. **Soil and Tillage Research**, v.52, n.3-4, p.223-232, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(99\)00086-0](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(99)00086-0)

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE – USDA. Department of Agriculture. **Soil quality test kit guide**. Washington, DC: USDA ARS - Soil Quality Institute, 1999, 82p.

VAN ANTWERPEN, R.; VAN HEERDEN, P. D. R.; KEEPING, M. G.; TITSHALL, L. W.; JUMMAN, A.; TWEDDLE, P. B.; CAMPBELL, P. A review of field management practices impacting root health in sugarcane. **Advances in Agronomy**, v.173, p.79-162, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2022.02.002>

VINHOLIS, M. M. B.; SOUZA FILHO, H. M.; SHIMATA, I.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEDROSO, A. F. Economic viability of a crop-livestock integration system. **Ciência Rural**, v.51, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190538>

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**, v.37, n.1, p.29-38, 1934. DOI: <https://doi.org/10.1097/00010694-193401000-00003>

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v.19, n.13, p.1467-1476, 1988.

YODER, R. E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.28, n.5, p.337-351, 1936. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x>

Capítulo 2

Crescimento e produtividade de espécies agrícolas cultivadas sob plantio direto em sistema de recuperação de pastagens degradadas

Crescimento e produtividade de espécies agrícolas cultivadas sob plantio direto em sistema de recuperação de pastagens degradadas

RESUMO: A degradação de pastagens no Recôncavo da Bahia impõe desafios à produtividade e à sustentabilidade, demandando sistemas conservacionistas que conciliem produção vegetal e recuperação da qualidade do solo. Objetivou-se avaliar o crescimento e a produtividade de seis culturas agrícolas cultivadas em sistema de plantio direto em uma pastagem degradada no Recôncavo da Bahia. O estudo foi realizado no Setor de Forragicultura da UFRB, em Cruz das Almas-BA, entre abril de 2022 e julho de 2024, em delineamento em blocos casualizados, com sete tratamentos (T1: Crotalária; T2: Braquiária; T3: Sorgo; T4: Mandioca; T5: Feijão guandu; T6: Milheto; T7: Controle (pastagem degradada) e quatro repetições. Para avaliar o crescimento, o potencial produtivo e o acúmulo de biomassa foi mensurado a altura média de dez plantas, percentual de folhas, colmos, inflorescências e material morto, além da relação folha/colmo. Estimou-se ainda as produções de massa verde e massa seca totais e sua conversão em silagem; para a mandioca, determinou-se ainda a quantidade e produtividade de raízes. Os resultados foram analisados individualmente, com análise descritiva entre tratamentos similares. As culturas responderam de forma distinta às condições edafoclimáticas, ao manejo e à ocorrência de pragas e doenças. Observou-se redução das porcentagens de folhas e inflorescências e aumento da fração de colmos, reduzindo a relação folha/colmo. Houve aumento expressivo de material morto na Braquiária, indicando senescência precoce por rebrota. A produção de massa verde e seca foi superior em Crotalária e Mandioca. A Mandioca destacou-se na produção de silagem e na produtividade de raízes, mesmo com redução no número de raízes, evidenciando rusticidade e adaptabilidade a condições edafoclimáticas e bióticas adversas.

Palavras-chaves: Degradação, Diversificação da produção, Forragem, Leguminosas, Plantas de cobertura.

Growth and productivity of agricultural species grown under no-tilling in a degraded pastures recovery system

ABSTRACT: Pasture degradation in the Recôncavo region of Bahia poses challenges to productivity and sustainability, demanding conservationist systems that reconcile plant production with the recovery of soil quality. This study aimed to evaluate the growth and productivity of six agricultural crops cultivated under a no-tillage system in a degraded pasture in the Recôncavo region of Bahia. The experiment was conducted at the Forage Sector of the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas, BA, from April 2022 to July 2024, in a randomized block design with seven treatments (T1: Sunn hemp; T2: Signal grass; T3: Sorghum; T4: Cassava; T5: Pigeon pea; T6: Pearl millet; T7: Control – degraded pasture) and four replications. To assess growth, productive potential, and biomass accumulation, the following parameters were measured: number of plants per linear meter, mean height of ten plants, proportions of leaves, stems, inflorescences, and dead material, as well as the leaf:stem ratio. Total fresh and dry matter yields and their conversion into silage were also estimated; in cassava, root number and yield were additionally determined. Data were analyzed individually, with descriptive comparisons among similar treatments. The crops responded differently to edaphoclimatic conditions, management, and the occurrence of pests and diseases. A reduction in leaf and inflorescence proportions and an increase in stem fraction were observed, leading to a decreased leaf:stem ratio. Signal grass exhibited a marked increase in dead material, indicating early senescence due to regrowth. Fresh and dry matter yields were higher in Sunn hemp and cassava. Cassava was particularly noteworthy for its silage production and root yield, even with a reduction in root number, highlighting its rusticity and adaptability to adverse edaphoclimatic and biotic conditions.

Keywords: Degradation, Production diversification, Forage, Legumes, Cover crop.

1. INTRODUÇÃO

A produtividade em áreas de pastagem está intimamente associada à qualidade do solo, sendo a degradação dos seus atributos um dos principais fatores limitantes nos sistemas agropecuários (CARVALHO et al., 2017; SILVA et al., 2018; OLIVEIRA FILHO, 2023). No Brasil, grande parte das atividades agropecuárias ainda é conduzida sob um modelo de exploração extrativista, caracterizado por baixa diversificação dos sistemas de produção e em desacordo com os princípios da agricultura conservacionista (TELLES et al., 2019).

A necessidade de evitar ou minimizar os efeitos da degradação e aumentar a produtividade em áreas de pastagem tem levado à busca e adoção de sistemas de produção mais eficientes e equilibrados, sendo o sistema de plantio direto e diversificação de culturas amplamente estudados (FUENTES-LLANILLO et al., 2018; VOLSI et al., 2020; VOLSI et al., 2021; GARBELINI et al., 2022).

Em se tratando de Recôncavo Baiano, onde há a predominância de Latossolos e Argissolos de baixa fertilidade e com características coesas (JACOMINE et al., 1996; RIBEIRO, 1998; REZENDE, 2000; SANTOS et al., 2018) torna-se ainda mais evidente a necessidade do uso de práticas conservacionistas que proporcionem condições adequadas para o estabelecimento de culturas agrícolas de interesse agrônomo, forrageiro e alimentar.

A integração de espécies vegetais capazes de fornecer diferentes serviços ecossistêmicos é uma estratégia eficaz para a melhoria da qualidade do solo pois, quando realizada de forma contínua, promove benefícios agrônômicos e ambientais, agregando valor nutricional e econômico às propriedades rurais (OLIVEIRA et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2024).

Nesse cenário, espécies como Crotalária (*Crotalaria juncea*) e o Feijão guandu (*Cajanus cajan*) destacam-se como adubos verdes, em função da capacidade de fixação biológica de nitrogênio, elevada produção de biomassa e contribuição para o aumento da matéria orgânica do solo (VAN EERD et al., 2023; BERRIEL, 2024). Além disso, forrageiras como o Sorgo (*Sorghum bicolor*) e o Milheto (*Pennisetum glaucum*) são utilizados como culturas de cobertura devido à rusticidade, eficiência na proteção do solo e fornecimento de produtos comercializáveis (PERAZZO et al., 2017; JACOVETTI et al., 2018; MACÊDO et al., 2018). A Braquiária (*Urochloa* spp.) é reconhecida por sua capacidade de promover descompactação biológica por meio de seu sistema radicular vigoroso e por

fornecer palhada para a proteção do solo (ÍTAVO et al., 2016; MARCHÃO et al., 2024), enquanto a Mandioca (*Manihot esculenta*) representa uma cultura de importância socioeconômica para a agricultura familiar (LOBO; SANTOS JÚNIOR; NUNES, 2018; OLIVEIRA et al., 2020).

Os sistemas de plantio direto associados à diversificação das culturas em áreas de pastagem degradada podem influenciar positivamente na melhoria nos atributos físicos e químicos do solo e refletir no crescimento e produtividade das espécies agrícolas implantadas. Assim, objetivou-se avaliar o crescimento e produtividade de seis culturas agrícolas cultivadas em sistema de plantio direto em uma pastagem degradada no Recôncavo da Bahia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área

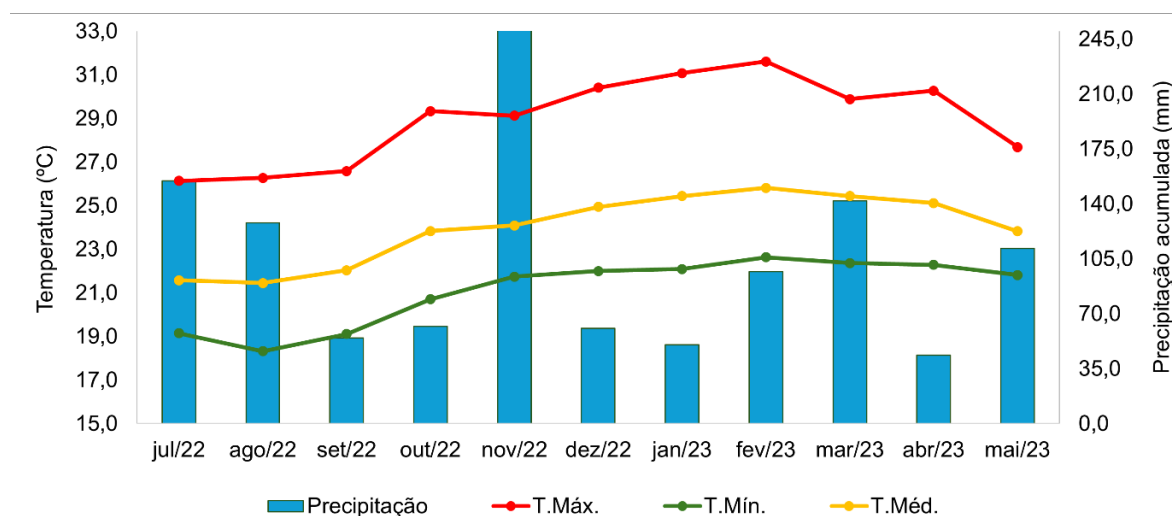
O estudo foi conduzido no Setor de Forragicultura no Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB/UFRB), localizado no município de Cruz das Almas, Bahia.

A região faz parte dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil, com clima do tipo Af, classificado como tropical chuvoso de floresta, com temperatura média anual de 24,2°C, pluviosidade média mensal superior a 60 mm e anual de 1500 mm, concentrados entre os meses de março e agosto, enquanto de setembro a fevereiro há uma tendência de períodos prolongados de estiagem (SILVA et al., 2016), e umidade relativa do ar de aproximadamente 82% (KÖPPEN; GEIGER, 1948).

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrocoeso (SANTOS et al., 2018) e a área encontrava-se em pousio há aproximadamente um ano, estando em processo de degradação, sem manutenção. A área experimental possuía dimensão de 44x30 m (largura x comprimento), sendo 560m² área útil de parcelas (28 parcelas).

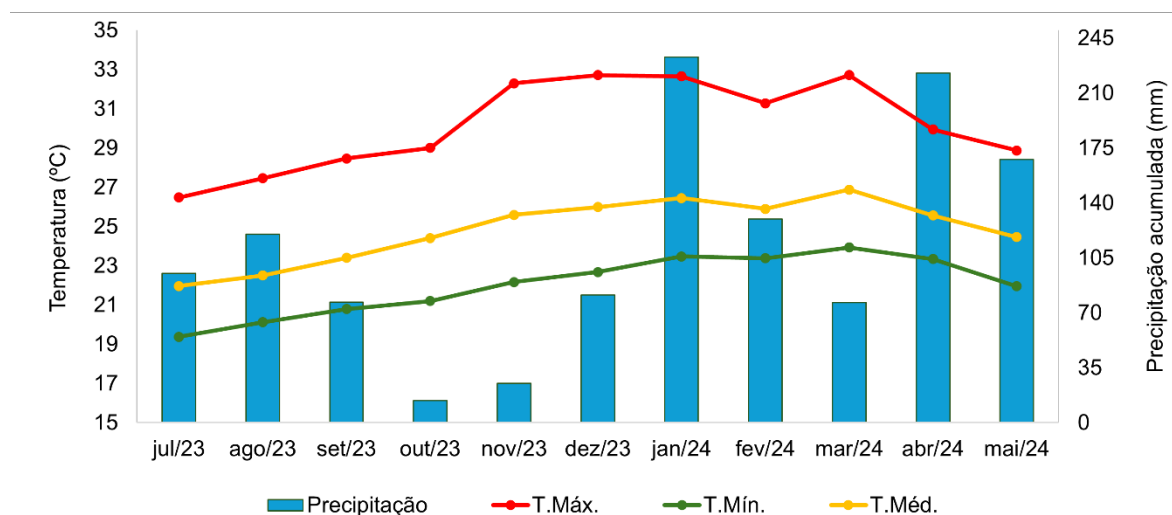
A Figura 1 apresenta o balanço climático das variáveis temperatura do ar e precipitação pluviométrica no período de julho de 2022 a maio de 2023, com média térmica de 23,9 °C e precipitação média de 106 mm. No segundo ano de avaliação (Figura 2), a temperatura média foi de 24,8 °C, enquanto a precipitação média registrada foi de 76,55 mm.

Figura 1. Precipitação (mensal), Temperatura máxima (T.max.), Temperatura mínima (T.Min) e Temperatura média (T.méd) no período de julho de 2022 a maio de 2023, em Cruz das Almas, BA. Dados obtidos na Estação Meteorológica Automática da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, BA



Fonte: INMET (2025)

Figura 2. Precipitação (mensal), Temperatura máxima (T.max.), Temperatura mínima (T.Min) e Temperatura média (T.méd) no período de julho de 2023 a maio de 2024, em Cruz das Almas, BA. Dados obtidos na Estação Meteorológica Automática da Embrapa Mandioca e Fruticultura, em Cruz das Almas, BA

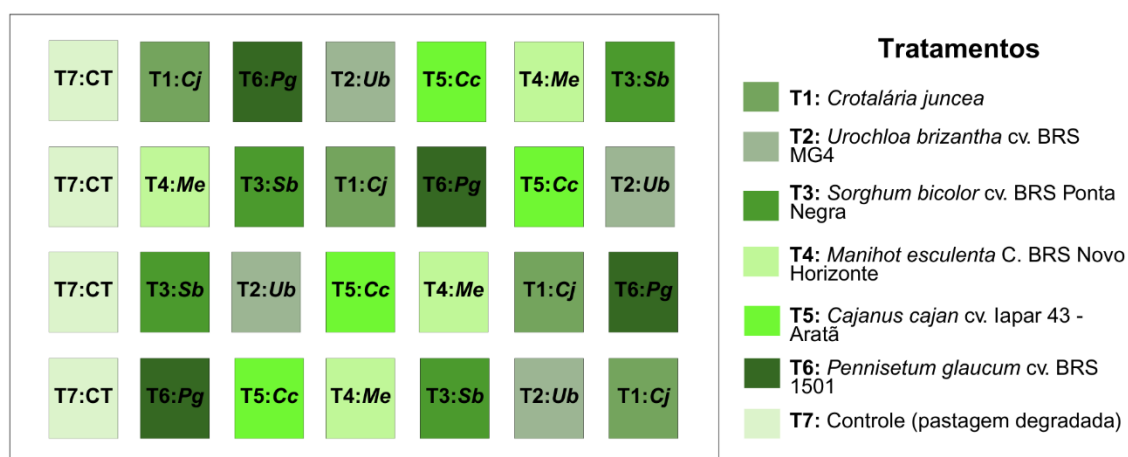


Fonte: INMET (2025)

2.2. Organização experimental, amostragem e atributos avaliados

O estudo foi realizado em delineamento de blocos casualizados, constituído de sete tratamentos, T1: Crotalária (*Crotalária juncea* L.), T2: Braquiária (*Urochloa brizantha* cv. MG4), T3: Sorgo (*Sorghum bicolor* cv. BRS Ponta Negra), T4: Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz BRS Novo Horizonte), T5: Feijão guandu (*Cajanus cajan* L. cv. Iapar 43-Aratã), T6: Milheto (*Pennisetum glaucum* cv. BRS 1501), T7: Controle (pastagem degradada), com quatro repetições (blocos), totalizando 28 parcelas experimentais. Cada parcela possuía quatro metros de comprimento e cinco metros de largura (4x5m), compreendendo 20m², com corredores de dois metros entre parcelas.

Figura 3. Croqui experimental dos tratamentos implantados em campo no sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia



Fonte: GONÇALVES (2025)

Antes da instalação do experimento, foi realizada a limpeza da área utilizando roçadeira costal, seguido da aplicação do herbicida à base de glifosato Roundup® (2 L ha⁻¹) e também do herbicida Tordon Ultra (3 L ha⁻¹) afim de eliminar a vegetação espontânea e reduzir a competição com as culturas de interesse. Adicionalmente, foi realizado o controle localizado de formigas cortadeiras com a aplicação do inseticida fipronil Regent® 800 WG(2 g L⁻¹), com um volume de calda de 200 L ha⁻¹ nos bancos de entrada dos formigueiros, utilizando pulverizador costal.

A correção da acidez do solo foi realizada no primeiro ano experimental, antes da implantação das culturas, com base no método de saturação por bases

(V%) recomendado para cada espécie cultivada. A necessidade de calagem foi calculada para elevar a saturação por bases a 50% para Mandioca, 60% para Crotalária, Braquiária e Sorgo, 65% para Milheto e 70% para Feijão guandu. Para atender a essas exigências, foram aplicadas doses de 4,0 t ha⁻¹; 7,2 t ha⁻¹; 6,5 t ha⁻¹; 5,9 t ha⁻¹; 7,0 t ha⁻¹ e 8,2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 92%), respectivamente, para as culturas citadas anteriormente, sendo essas quantidades divididas entre as quatro parcelas de cada tratamento e aplicadas à lanço.

A adubação de cobertura com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) foi realizada a lanço nos dois anos agrícolas, de forma individualizada para cada parcela, 15 dias após o plantio (Tabelas 1 e 2). As quantidades de nutrientes foram estabelecidas seguindo as recomendações do Manual de Recomendação para o Uso de Corretivos e Fertilizantes para o Estado de Minas Gerais (ALVAREZ et al., 1999) e do Boletim Técnico da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (PEREIRA FILHO et al., 2016), considerando um sistema de produção de baixo nível tecnológico. Como fontes de nutrientes foram utilizados fertilizantes formulados NPK na proporção 4-14-8, além de ureia, cloreto de potássio (KCl) e superfosfato simples (SS).

Tabela 1. Adubação química de cobertura realizada nas parcelas experimentais no primeiro ano agrícola

Tratamentos	Parcelas	kg ha ⁻¹		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
<i>Crotalaria juncea</i>	1	-	20	20
	8, 16 e 24	-	40	30
<i>Urochloa brizantha</i>	2 e 11	80	-	20
	13	80	-	40
	22	80	70	40
<i>Sorgo bicolor</i>	3	100	-	120
	12	100	120	120
	17 e 19	100	150	180
<i>Manihot esculenta</i>	4 e 18	30	20	20
	9 e 20	30	20	30
<i>Cajanus cajan</i>	5	-	20	30
	10 e 14	-	40	30
	21	-	20	20
<i>Pennisetum glaucum</i>	6	80	-	-
	7	80	-	50
	15	80	50	50
	23	80	80	50

Parcelas: parcelas identificadas, da direita para a esquerda, no croqui de campo. N: nitrogênio; P₂O₅: fósforo; K₂O: potássio

No segundo ano de implantação dos tratamentos, as parcelas experimentais de cada cultura receberam a mesma quantidade de adubação para manutenção (Tabela 2).

Tabela 2. Adubação química de cobertura realizada nas parcelas experimentais no segundo ano agrícola

Tratamentos	Parcelas	N	P ₂ O ₅ K ₂ O	
			----- kg ha ⁻¹ -----	
<i>Crotalaria juncea</i>	1, 8, 16 e 24	-	60	60
<i>Urochloa brizantha</i>	2, 11, 13 e 22	50	40	40
<i>Sorgo bicolor</i>	3, 12, 17 e 19	80	80	80
<i>Manihot esculenta</i>	4, 9, 18 e 20	40	80	60
<i>Cajanus cajan</i>	5, 10, 14 e 21	-	60	60
<i>Pennisetum glaucum</i>	6, 7, 15 e 23	80	80	80

Parcelas: parcelas identificadas, da direita para a esquerda, no croqui de campo. N: nitrogênio; P₂O₅: fósforo; K₂O: potássio

A semeadura das culturas foi realizada em cinco linhas de plantio, com espaçamento de 0,7 m entre linhas e a quantidade de sementes utilizadas foi calculada conforme recomendação técnicas para cada espécie: 12 kg ha⁻¹ para o Milheto, 10 kg ha⁻¹ para o Sorgo, 6 kg ha⁻¹ para a Braquiária, 25 kg ha⁻¹ para a Crotalaria e 20 kg ha⁻¹ para o Feijão guandu.

Para o tratamento mandioca, o plantio foi realizado de forma manual, com manivas de 0,2 m de comprimento, em covas com 0,1 m de profundidade. As manivas utilizadas foram adquiridas junto à Embrapa Mandioca e Fruticultura (ano 1) e à Fazenda Experimental da UFRB (ano 2), sendo utilizada a cultivar BRS Novo Horizonte.

As avaliações foram realizadas de acordo com o ciclo de vida e/ou produção das culturas, a saber: 1) para as culturas anuais (Sorgo, Milheto, Crotalaria e Feijão guandu), realizou-se a avaliação aos 90 dias após a implantação do experimento em campo; 2) para a Braquiária, que é uma forrageira perene, realizou-se a avaliação a cada 90 dias, totalizando 4 coletas no ano; 3) para a Mandioca, que é uma cultura agrícola de ciclo longo, realizou-se a avaliação ao final do ciclo de produção (12 meses).

Para a avaliação do desenvolvimento das culturas agrícolas (Sorgo, Milheto, Crotalaria e Feijão guandu), foram mensuradas a altura de 10 plantas a partir do nível do solo, utilizando fita métrica, bem como o percentual de biomassa de folhas, colmo e inflorescências. No caso da Mandioca foi mensurada a altura e determinado o acúmulo de biomassa por meio da quantificação do número de

plantas por metro linear, número de raízes e peso das raízes. Para a Braquiária (planta forrageira) foi mensurado a produção de massa (verde e seca) de forragem, além do percentual de biomassa de folhas, colmo e inflorescências.

A estimativa da produção de massa verde e seca das plantas foi realizada por meio de amostragem utilizando um quadro metálico com área de 1 m², sendo coletadas duas amostras aleatórias por unidade experimental, sendo o corte realizado a 0,1 m do solo, conforme metodologia descrita por Neres et al. (2012).

A primeira amostra, composta por todo o material coletado, foi utilizada para a determinação do peso de massa verde total (PMV), enquanto uma subamostra de aproximadamente 250 g foi separada para a realização do fracionamento morfológico em folhas (Folha), colmo (Colmo), inflorescência (Inflo) e material morto (M. morto), e pesadas para a determinação da porcentagem de cada fração. Em seguida, o material de todas as amostras foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e submetido à secagem em estufa com ventilação forçada de ar, a 65°C, até atingir massa constante, permitindo a determinação da produção de massa seca (PMS), sua conversão em produção de silagem (PSI), e da massa seca em porcentagem (MS%). Além disso, a relação folha/colmo (RF:C) foi determinada pela razão entre os pesos secos das lâminas foliares e dos colmos+bainhas.

Após a avaliação, todos os tratamentos da área experimental foram submetidos ao corte, com exceção do tratamento Mandioca, o qual permaneceu em campo por um período de doze meses, sendo avaliado ao final de seu ciclo produtivo. A produção de PMV da mandioca foi determinada por meio de duas amostras por parcela, consistindo em duas plantas por metro linear. O corte foi realizado em um terço da planta (colmo + parte aérea), e o material coletado foi pesado, acondicionado em sacos de papel identificados e submetido à secagem em estufa para obtenção da PMS e do teor MS%.

Para a estimativa da produtividade de raízes, as raízes das mesmas plantas utilizadas na amostragem foram removidas, contadas e pesadas, sendo os resultados expressos em número de raízes (NR) e peso de raízes (PR). Para a estimativa da produção de massa seca da parte aérea e das raízes de mandioca por hectare foi determinado o número de plantas por hectare (19.722 plantas/ha). A partir desse valor, a produção individual obtida em cada amostra foi multiplicada

pela densidade de plantas estimada, permitindo a extrapolação dos dados de produtividade por unidade de área (kg ha^{-1}).

O material vegetal restante na área experimental, após cada avaliação, foi cortado e deixado sobre a superfície do solo, com o objetivo de promover a formação de cobertura vegetal e o incremento de matéria orgânica no solo.

Por apresentarem características distintas, os tratamentos foram analisados de forma independente sendo realizada uma análise descritiva, limitando-se as comparações apenas entre os tratamentos similares nos dois anos agrícolas avaliados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação do crescimento das culturas em função dos respectivos ciclos de vida/produção demonstrou variações relevantes entre os tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Crescimento das culturas em função dos respectivos ciclos de vida/produção, em dois anos agrícolas de implantação do sistema

Tratamentos	Altura m	Folha -----	Colmo -----	inflo % -----	M. Morto -----	RF:C
Ano 1						
Crotalária	1,493	17,198	72,430	10,372	-	0,239
Braquiária	-	42,163	45,787	-	8,330	0,940
Sorgo	1,484	22,543	35,753	18,176	12,416	0,707
Mandioca	1,588	-	-	-	-	-
Feijão guandu	0,692	42,770	38,048	19,182	-	1,163
Milheto	1,311	15,738	48,664	35,598	-	0,337
Ano 2						
Crotalária	1,827	7,061	76,318	16,621	-	0,091
Braquiária	-	36,507	41,056	-	22,437	0,910
Sorgo	1,347	10,399	56,720	10,960	10,810	0,167
Mandioca	1,996	-	-	-	-	-
Feijão guandu	0,993	42,337	53,794	15,476	-	0,805
Milheto	1,094	16,132	58,046	25,940	-	0,282

Altura: altura de plantas (metros); M. Morto: Material morto; RF:C=Razão Folha:Colmo

A altura das plantas variou entre os tratamentos ao longo dos dois ciclos de cultivo (Tabela 3), com incrementos observados nos tratamentos Mandioca (0,409 m), Crotalária (0,334 m) e Feijão guandu (0,301 m). Um dos fatores que podem contribuir para maior altura das plantas é a utilização da cobertura morta,

que promove melhorias nas condições físicas, térmicas e hídricas do solo, favorecendo um melhor desenvolvimento das culturas subsequentes (ALVES et al., 2018), estratégia de manejo adotada no presente estudo.

Por outro lado, os tratamentos Sorgo e Milheto apresentaram redução na altura média das plantas (0,137 m e 0,217 m) respectivamente. Ao avaliarem a altura de plantas de sorgo em função do espaçamento de plantio Rabelo et al. (2012) observaram maior média de altura (1,60 m) quando a cultura foi conduzida em maior espaçamento, sugerindo que nessas condições há uma maior taxa de expansão foliar e, conseqüentemente, maior taxa de fotossíntese, resultando no incremento em altura das plantas. No presente estudo, a redução da altura das plantas de Sorgo (Tabela 3), decorre, possivelmente, do aumento da densidade de plantio no segundo ciclo, ocasionada por sucessivos replantios devido a baixa germinação das sementes, o que pode ter intensificado a competição por luz, água e nutrientes, impactando o crescimento em altura nesse tratamento.

No tratamento Milheto, a maior densidade de plantas no segundo ciclo, também exerceu influência sobre a altura das plantas. Ao investigarem os efeitos da fertilização nitrogenada e da densidade populacional no crescimento e na produtividade de diferentes cultivares de milho, Palchetti et al. (2023) relataram que o aumento na densidade de plantas promoveu uma redução progressiva na altura, resultado que corrobora os dados obtidos no presente estudo.

A redução na proporção de folhas do ano 1 para o ano 2 observada no tratamento Crotalaria (10,14%) pode ser atribuída ao avanço do ciclo fenológico da cultura influenciado pelas condições climáticas adversas registradas durante o segundo ano experimental, conforme demonstrado na Figura 2. Nesse período, a menor precipitação acumulada e o aumento das temperaturas contribuíram para a antecipação da senescência e para a desfolha precoce das plantas, resultando em menor acúmulo de biomassa foliar.

Para o tratamento Sorgo houve redução de 12,14% na fração folhas (Tabela 3), sendo atribuído à maior densidade de plantio que influenciou na redução do crescimento foliar, assim como no tratamento Braquiária que também apresentou decréscimo de 5,66% possivelmente devido à maior presença de material senescente e por se tratar de material de rebrota do primeiro ciclo. Por fim, o Feijão guandu apresentou uma leve redução (0,43%), enquanto o Milheto expressou um ligeiro aumento (0,39%).

Ao avaliar a cultura do milho utilizado como silagem em comparação com gramíneas tradicionais, Jacovetti et al. (2018) observaram uma proporção de 52,3% de folhas verdes para o milho, valor consideravelmente superior ao encontrado nos dois anos de cultivo deste estudo (15,74% e 16,13%). Apesar do leve aumento na porcentagem de folhas no Milho do primeiro para o segundo ciclo de cultivo, a densidade de plantio em conjunto com a baixa fertilidade do solo e menor precipitação, teve um impacto significativo na proporção de folhas para esse tratamento, impactando negativamente no seu desempenho agrônomo.

Ainda se tratando de folhas, os mesmos autores relataram uma proporção de 14,4% de folhas para a cultura do Sorgo, valor inferior ao observado no primeiro ciclo de cultivo do presente estudo, no qual o Sorgo apresentou melhor desempenho, e com média superior à verificada no segundo ciclo, sendo neste último a redução na proporção de folhas associada à maior densidade de plantio, que afetou negativamente essa variável.

Os resultados demonstraram um aumento na proporção de colmos entre os anos avaliados (Tabela 3), com exceção do tratamento Braquiária. Observou-se incremento de 20,97% para o tratamento Sorgo, 15,75% para Feijão guandu, 9,38% para Milho e 3,89% para Crotalaria, indicando maior alocação de biomassa em estruturas de sustentação. O aumento na porcentagem de colmo nos tratamentos Sorgo e Milho está associado ao menor desenvolvimento e expansão das folhas devido a maior densidade de plantio.

Em relação à Crotalaria, esse comportamento foi observado devido à senescência e desfolha antecipada em função das mudanças climáticas no final do segundo ciclo de cultivo. Para o Feijão guandu, o acréscimo na proporção de colmo foi influenciado pela menor densidade de plantas no segundo ano, que favoreceu o alongamento dessas estruturas, além da incidência de formigas, que reduziu a proporção de folhas, resultando em maior percentual de colmo. O tratamento Braquiária obteve 4,73% de redução para essa variável, indicando menor rebrota do primeiro para o segundo ciclo.

A proporção de colmos em plantas forrageiras destinadas à ensilagem é um fator relevante, uma vez que essa estrutura apresenta baixa digestibilidade devido ao alto teor de carboidratos estruturais de difícil degradação pelos animais, devendo ser menos expressiva que a proporção de folhas (JACOVETTI et al., 2018). Adicionalmente, menores proporções de colmo são desejáveis do ponto de

vista da formação de cobertura morta no solo, pois resultam em menor acúmulo de material lignificado. Essa característica favorece a decomposição da matéria orgânica e, conseqüentemente, promove a liberação mais rápida de nutrientes ao solo, beneficiando o desenvolvimento das culturas subsequentes (SANTOS et al., 2013).

A emissão de inflorescências variou entre os anos de avaliação (Tabela 3). O tratamento Crotalária apresentou um aumento de 6,25% na emissão de inflorescências do primeiro para o segundo ciclo de cultivo reforçando a afirmação citada anteriormente a cerca do avanço no ciclo produtivo influenciado pelas mudanças climáticas.

Por outro lado, observou-se redução na emissão de inflorescências nos tratamentos Sorgo (7,22%), Feijão guandu (3,71%) e Milheto (9,66%). Nos tratamentos com Sorgo e Milheto, essa redução foi atribuída à maior densidade de plantio, que retardou o ciclo dessas culturas. Para o Feijão guandu, a diminuição foi associada à ação de formigas cortadeiras, que comprometeram a densidade de plantas e proporcionaram menor porcentagem dessa estrutura.

A variável material morto foi registrada apenas nos tratamentos Braquiária e Sorgo, o primeiro com aumento expressivo de aproximadamente 14% podendo indicar senescência mais acentuada ou menor renovação foliar, enquanto o Sorgo apresentou leve redução de 1,61%. Avaliando características agrônômicas de *Urochloa* spp., Santos et al. (2019) encontraram 4,47% de material morto para *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, indicando que a maior densidade de plantio favoreceu a redução nas taxas fotossintéticas das folhas, incrementando a proporção de folhas mortas.

A RF:C reduziu em todos os tratamentos onde essa variável foi analisada, sugerindo maior proporção de biomassa estrutural em relação à biomassa foliar (Tabela 3). Considerando os processos de decomposição de palhada no solo e a utilização das plantas na alimentação animal, uma maior proporção de folhas em relação ao colmo, expressa por um maior valor da relação folha/colmo (RF:C), é desejável, em função da maior digestibilidade e do menor teor de material lignificado das folhas.

Esse padrão não foi observado nesse estudo indicando que a silagem, caso fosse produzida, apresentaria menor valor nutricional. Conforme destacado por Oliveira et al. (2024), a avaliação da qualidade da forragem pode ser

consideravelmente comprometida quando a proporção de folhas e panículas for reduzida, uma vez que é nessas estruturas que concentram os maiores teores de nutrientes das forrageiras.

A análise da produtividade das culturas em função dos respectivos ciclos de vida/produção estão apresentados na Tabela 4. O teor de MS% apresentou aumento em quase todos os tratamentos do primeiro para o segundo ano, sendo os maiores incrementos observados nos tratamentos Sorgo, Braquiária e Crotalária.

Tabela 4. Produtividade das culturas em função dos respectivos ciclos de vida/produção, em dois anos agrícolas de implantação do sistema

Tratamentos	MS	PMV	PMS	PSI	NR	PR
	%	----- kg ha ⁻¹ -----	----- kg ha ⁻¹ -----	-----	ha	kg ha ⁻¹
Ano 1						
Crotalária	33,48	5.750,00	1.867,98	-	-	-
Braquiária	27,05	17.289,29	6.476,24	-	-	-
Sorgo	27,61	12.634,92	3.522,00	10.740,68	-	-
Mandioca	29,55	4.258,72	1.258,72	3.619,91	145.449,75	13.694,46
Feijão guandu	37,09	4.526,79	1.674,95	-	-	-
Milheto	33,23	9.116,07	3.052,80	7.748,66	-	-
Ano 2						
Crotalária	37,10	13.125,00	4.876,92	-	-	-
Braquiária	29,05	9.678,57	3.009,40	-	-	-
Sorgo	35,72	11.214,29	3.979,54	9.532,14	-	-
Mandioca	22,01	10.224,60	2.219,11	8.690,93	134.356,13	18.748,23
Feijão guandu	37,42	4.410,71	1.638,05	-	-	-
Milheto	34,30	5.035,71	1.323,66	4.280,36	-	-

MS= Teor de massa seca (%); PMV=Produção de massa verde (kg ha⁻¹); PMS=Produção de massa seca (kg ha⁻¹); PSI= Produção de silagem (matéria verde); NR: Número de raízes ha; PR: Produção de raízes (kg ha⁻¹)

No tratamento Sorgo, observou-se o maior incremento, aproximadamente 8%, indicando um ganho de MS ao longo do tempo. Esse resultado reforça o resultado encontrado para crescimento da cultura apresentado na Tabela 3, com menor proporção de folhas e maior proporção de colmo, indicando que o incremento na MS é decorrente do aumento da porcentagem de colmo nesse tratamento.

Em estudos que avaliaram as características morfológicas e produtivas de genótipos de sorgo voltados à produção de forragem no semiárido brasileiro, Macêdo et al. (2018) relataram que o teor médio de massa seca foi de 21,05% para

a cultivar BRS Ponta Negra, valor inferior ao observado no presente estudo nos dois anos de avaliação. Em acréscimo, Jacovetti et al. (2018) avaliando gramíneas tradicionais utilizadas para silagem, como o sorgo, obtiveram teor médio de MS de 24,4%, resultado igualmente menor ao verificado nesse estudo. A variação observada entre os resultados pode ser atribuída, em grande parte, às diferenças nas condições climáticas entre as regiões.

Apesar do menor volume de chuvas observado no segundo ano de implantação do sistema (Figura 2), no Recôncavo da Bahia, a distribuição pluviométrica ocorre de forma mais equilibrada ao longo de todo o ano, inclusive no período avaliado (SILVA; COELHO FILHO; COELHO, 2016), enquanto regiões como o Semiárido são caracterizadas por longos períodos de estiagem, o que influencia significativamente o desenvolvimento das culturas e nos parâmetros avaliados.

O valor de MS para o tratamento Crotalária apresentou um acréscimo de 3,62% (Tabela 4). Leal et al. (2012) avaliando o desempenho da *Crotalária juncea* cultivada em diferentes épocas de semeadura e de corte observaram que aos 90 dias de cultivo a espécie possuía 30,4% de MS, resultado inferior aos encontrados nesse estudo nos dois anos avaliados, independente da época de cultivo.

No tratamento Braquiária foi verificado acréscimo de 2,01% na MS. Jayme et al. (2009), ao determinar o momento ideal de colheita da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu para produção de silagem observaram aos 87 dias de cultivo um teor de 17,76% de MS, valor inferior aos obtidos no presente estudo. De acordo com os autores, o teor de MS tende a aumentar com o avanço da idade da planta, no entanto, esse incremento está geralmente associado à redução do valor nutritivo das plantas e, conseqüentemente, da forragem produzida.

Em contrapartida, o tratamento com Mandioca apresentou redução de aproximadamente 8% no teor de MS, resultado que pode estar associado à ocorrência da doença do mosaico africano da mandioca durante o segundo ciclo, possivelmente advinda de manivas infectadas. Essa fitopatia, manifesta-se por meio de sintomas como mosaico foliar, clorose e deformação das folhas, comprometendo significativamente o desenvolvimento vegetativo e a produtividade da cultura, características observadas durante a avaliação do estudo que culminaram em menor porcentagem de folhas verdes e maior porcentagem de

colmo, influenciando no resultado final encontrado para essa variável (ANDRADE; LARANJEIRAS, 2019).

O teor de MS da forragem é um dos principais fatores que influenciam o processo fermentativo durante a ensilagem, afetando diretamente a qualidade do material conservado. O teor de MS da planta no momento da ensilagem é determinante para o tipo de fermentação que ocorrerá, sendo recomendado que esse valor esteja acima de 25% para garantir condições ideais de fermentação, reduzir perdas por efluentes e favorecer a estabilidade da silagem durante o armazenamento (MCDONALD et al., 1991).

A PMV apresentou variação entre os tratamentos ao longo dos dois anos de cultivo, com os maiores incrementos observados nos tratamentos Crotalária e Mandioca (Tabela 4). Esses resultados podem estar associados, em parte, à maior contribuição relativa do colmo para a biomassa total dessas culturas. No caso específico da Mandioca, o aumento na PMV pode ter sido influenciado pela menor proporção de folhas, decorrente da manifestação da doença do mosaico africano da mandioca, que comprometeu o desenvolvimento foliar e favoreceu o crescimento em altura, enquanto a para a Crotalária, pode ser atribuído à maior proporção de colmos em detrimento das folhas em função da desfolha precoce ocorrida no ano 2.

Ao avaliarem o rendimento de biomassa de *Crotalária juncea* em diferentes períodos de corte e densidades no estado do Piauí, Teodoro et al. (2016) encontraram uma produtividade média de 13,2 t.ha⁻¹, utilizando linhas espaçadas a 0,50 m e densidade de 30 plantas por metro linear. O resultado obtido nesse estudo no segundo ano de cultivo foi aproximado ao encontrado pelos autores indicando que, apesar das diferenças edafoclimáticas e de delineamento experimental, a produtividade foi semelhante.

Por outro lado, os tratamentos Braquiária, Sorgo, Feijão guandu e Milheto apresentaram redução na PMV (Tabela 4), sendo no tratamento Braquiária mais expressiva, possivelmente relacionada à senescência precoce ou ao menor vigor vegetativo no segundo ano, uma vez que esse tratamento foi conduzido a partir da rebrota do ciclo anterior.

Os decréscimos observados para os tratamentos Sorgo e Milheto pode ser devido à densidade de plantio que impactou negativamente a produção, enquanto

o Feijão guandu pode ser atribuído ao ataque de formigas cortadeiras durante o cultivo, como citado anteriormente.

A PMV constitui um dos principais atributos a serem considerados na escolha de espécies forrageiras, uma vez que influencia diretamente o rendimento e a qualidade da forragem produzida (KUNG JUNIOR et al., 2018). Em estudo conduzido em um Latossolo Amarelo na Fazenda Experimental da UFRB, Oliveira et al. (2024) avaliaram diferentes genótipos de sorgo e relataram PMV em torno de 31.120 kg ha⁻¹, valor significativamente superior aos obtidos no presente experimento.

Ao avaliar a produção de adubos verdes e a utilização de seus resíduos no cultivo de cebolinha no estado de Alagoas, Cavalcante et al. (2015) observaram, aos 90 dias de cultivo, uma produção de massa verde de 18.200 kg ha⁻¹ para o Feijão guandu anão. Esse resultado foi atribuído à rusticidade da espécie e à sua capacidade de se desenvolver satisfatoriamente em solos de baixa fertilidade, sendo significativamente superior ao observado no presente estudo. Tal diferença reforça a hipótese de que a baixa produção do Feijão guandu esteja associada ao estresse biótico causado por formigas.

A PMS refletiu, em parte, as tendências observadas na PMV, com aumento nos tratamentos Crotalária, Mandioca e Sorgo e redução para Braquiária, Feijão guandu e Milheto (Tabela 4). Leal et al. (2012), ao avaliarem o desempenho agrônomo de *Crotalária juncea* submetida a diferentes épocas de semeadura e de corte, observaram uma produção média de massa seca de 7.902 kg ha⁻¹ aos 90 dias após o cultivo, independentemente da época de implantação. Esse valor foi superior aos obtidos no presente estudo no primeiro e segundo ano de cultivo, respectivamente.

Em contrapartida, o tratamento Braquiária apresentou decréscimo expressivo para PMS, possivelmente em decorrência do menor vigor devido ao seu segundo ciclo ser conduzido a partir da rebrota do ciclo anterior. Acompanhando essa tendência, o tratamento Milheto também apresentou queda para a variável PMS, atribuída à menor taxa de crescimento influenciada pela maior densidade de plantio no segundo ano, fator que pode ter limitado o desenvolvimento individual das plantas.

A produção de silagem (PSI) foi determinada com base na massa verde, exclusivamente para os tratamentos Mandioca, Sorgo e Milheto, selecionados por

seu potencial de atuarem como culturas amortizadoras de custos no sistema de recuperação de pastagem (Tabela 4).

Verificou-se incremento na produtividade de silagem no tratamento Mandioca entre o primeiro e o segundo ciclo de cultivo, enquanto os tratamentos Sorgo e Milheto apresentaram redução. Embora a mandioca tenha se destacado quanto à produtividade de silagem, é importante ressaltar que a maior proporção de colmo na biomassa pode comprometer a qualidade da silagem, caso utilizada de forma isolada.

O número (NR) e a produtividade de raízes (PR) foram avaliados exclusivamente para o tratamento Mandioca onde observou-se uma leve redução no número de raízes no segundo ano de cultivo, entretanto, a produtividade das raízes apresentou um acréscimo expressivo de aproximadamente 5.054 kg ha⁻¹.

Apesar dos estresses bióticos enfrentados ao longo do ciclo, a cultura da mandioca apresentou produtividade compatível com os valores médios esperados para a variedade BRS Novo Horizonte, cuja faixa de produção varia de 14 a 44 t ha⁻¹, com média de 27,50 t ha⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2020). Esse desempenho é relevante, uma vez que demonstra a capacidade da mandioca de expressar seu potencial produtivo mesmo sob condições edafoclimáticas adversas e em presença de fatores bióticos desfavoráveis, como a ocorrência de doenças, evidenciando sua rusticidade e adaptabilidade a diferentes ambientes.

É válido salientar que, visando conter a disseminação do vírus do mosaico africano na área experimental e prevenir sua ocorrência em plantios subsequentes, foi necessário realizar a eliminação completa da parte aérea das plantas, por meio de poda seguida da incineração do material vegetal fora da área de cultivo. Essa intervenção no sistema, embora necessária, possivelmente comprometeu o pleno desempenho produtivo da cultura.

De acordo com Aguiar et al. (2011), a remoção da parte aérea da mandioca promove uma alteração na dinâmica fisiológica da planta, particularmente na relação fonte/dreno. Com a necessidade de regeneração da parte aérea, estruturas responsáveis pela fotossíntese, as raízes deixam temporariamente de atuar como principais drenos e passam a desempenhar o papel de fonte de carboidratos, fornecendo reservas para o restabelecimento da planta, resultando em estabilização ou redução da produtividade da mandioca.

4. CONCLUSÕES

Observou-se redução de folhas e inflorescências e aumento de colmo na maioria dos tratamentos, diminuindo a relação folha/colmo e potencialmente a qualidade da biomassa, registrou-se maior material morto em Braquiária, indicando senescência associada à rebrota.

A produção de massa verde e seca foi superior em Crotalária e Mandioca; a Mandioca apresentou maior produtividade de silagem e incremento de raízes, mesmo com o menor número de raízes por planta.

Para fins de recuperação da pastagem e oferta de volumoso, a Mandioca se destaca como principal alternativa para silagem e a Crotalária como geradora de palhada, enquanto a Braquiária requer ajustes de manejo para mitigar perdas por rebrota.

5. REFERÊNCIAS

AGUIAR, E. B.; BICUDO, S. J.; CURCELLI, F.; FIGUEIREDO, P. G.; CRUZ, C. S. Épocas de poda e produtividade da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.11, 2011.

ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A. C. CALAGEM. IN: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; AALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p.43-60.

ALVES, H. K. M. N.; JARDIM, A. M. R. F.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F. The application of agrometeorological techniques contributes to the agricultural resilience of forage cactus: A review. **Amazonian Journal of Plant Research**, v.2, n.3, p.207-220, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.26545/ajpr.2018.b00026x>

ANDRADE, E. C.; LARANJEIRAS, F. F. African cassava mosaic virus (ACMV) e a Doença do Mosaico da Mandioca (Cassava Mosaic Disease, CMD: Subsídios para inclusão de novas espécies de begomovírus causadoras do CMD na lista de pragas quarentenárias A1 do Brasil. Brasília, DF: Embrapa, 2022. 22 p. (Embrapa. **Documentos**, 240).

BERRIEL, V. Effects of Soil Sucrose Application on Biological Nitrogen Fixation and Aboveground Biomass Production in Leguminous Cover Crops. **Nitrogen**, v.5, n.3, p.763-771, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/nitrogen5030050>

CARVALHO, W. T. V.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURICIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **PubVet**, v.11, p.1036-1045, 2017. DOI: <https://doi.org/10.22256/PUBVET.V11N10.1036-1045>

CAVALCANTE, V. S.; BARBOZA, J. T. V.; COSTA, L. C.; SANTOS, V. R.; SANTOS, M. J. N. Produção de adubos verdes e a utilização dos resíduos no cultivo da cebolinha. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.10, n.1, p.24-31, 2015.

FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; VOLSI, B., SOARES, D.; CARNEIRO, S. L.; GUIMARÃES, M.F. Profitability of no-till grain production systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v.39, n.1, p.77-86, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n1p77>

GARBELINI, L.G.; DEBIASI, H.; JUNIOR, A.A.B.; FRANCHINI, J.C.; COELHO, A. E.; TELLES, T.S. Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production systems. **European Journal of Agronomy**, v.137, p.1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126528>

ÍTAVO, L. C. V.; ÍTAVO, C. C. B. F.; DIAS, A. M.; FRANCO, G. L.; PEREIRA, L. C.; LEAL, E. S.; ARAÚJO, H. S.; SOUZA, A. R. D. L. Combinações de fontes de nitrogênio não proteico em suplementos para novilhos Nelore em pastejo. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.17, n.3, p.448-460, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1519-99402016000300011>

JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: Reunião técnica sobre solos coesos dos tabuleiros, 1996, Cruz das Almas. **Pesquisa e desenvolvimento para os Tabuleiros Costeiros: anais**. Aracaju: Embrapa CPATC; Embrapa CNPMP; EAUFBA; IGUFBA, 1996. p.13-24.

JACOVETTI, R. J.; FRANÇA, A. F. S.; CARNEVALLI, R. A.; MIYAGI, E. S.; BRUNES, L. C.; CORRÊA, D. S. Milheto como silagem comparado a gramíneas tradicionais: Aspectos quantitativos, qualitativos e econômicos. **Ciência Animal Brasileira**, v.19, p.1-16, 2018. DOI: [10.1590/1809-6891v19e-26539](https://doi.org/10.1590/1809-6891v19e-26539)

JAYME, C. G.; MOLINA, L. R.; GONÇALVES, L. C.; JAYME, D. G.; PIRES, D. A. DE A.; BORGES, I. Determinação do momento de colheita da *Brachiaria brizantha* (Hochest.) Stapf. cv. Marandu para produção de silagem. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, n.2, p.586-591, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000200035>

KOPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1948.

KUNG JUNIOR, L.; SHAVER, R. D.; GRANT, R. J.; SCHMIDT, R. J. Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. **Journal Dairy Science**, v.101, n.5, p.4020-4033, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>

LEAL, M. A. A.; GUERA, J. G. M.; PEIXOTO, R. T. G.; ALMEIDA, D. L. Desempenho de crotalária cultivada em diferentes épocas de semeadura e de corte. **Revista Ceres**, v.59, n.3, p.386-391, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000300014>

LOBO, I. D.; SANTOS JÚNIOR, C. F.; NUNES, A. Importância socioeconômica da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para a comunidade de Jaçapetuba, município de Cametá, PA. **Multitemas**, v.23, n.55, p.195-211, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20435/multi.v23i55.1913>

MACÊDO, A. J. DA S.; RAMOS, J. P. DE F.; SANTOS, E. M.; SOUSA, W. H.; OLIVEIRA, F. G.; SOUZA, J. T. A.; ORESCA, D. Morphometric and productive characteristics of sorghum genotypes for forage production in the Brazilian semi-arid. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.19, n.3, p.256-267, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402018000300003>

MARCHÃO, R. L.; MENDES, I. C.; VILELA, L.; JÚNIOR, R. G.; NIVA, C. C.; PULROLNIK, K.; SOUZA, K. W.; CARVALHO, A. M. Integrated Crop–Livestock–Forestry Systems for Improved Soil Health, Environmental Benefits, and Sustainable Production. Soil Health Series: Volume 3. **Soil Health and Sustainable Agriculture in Brazil**, v.3, p.19-61, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780891187448.ch2>

MCDONALD, P. J.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **The Biochemistry of Silage**. Marlow, Bucks, UK: Cambridge University Press, 1991, 2. ed..

NERES, A. A.; CASTAGNARA, D. D.; SILVA, F. B.; OLIVEIRA, P. S. R. DE.; MESQUITA, E. E.; BERNARDI, T. C.; GUARIANTI, A. J.; VOGT, A. S. L. Características estruturais e bromatológicas dos capins Tifton 85 e Piatã e do Feijão-Guandu cv. Super N em cultivo singular ou em associação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, p.862-869, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782012000500017>

OLIVEIRA, E. J.; FUKUDA, W. M. G.; OLIVEIRA, S. A. S.; REINGENBERG, R.; SILVA, M. R.; SOUZA, A. S.; SILVA, A. L. L.; OLIVEIRA FILHO, M. S.; FARIA, M. L.; SILVA, R. J. S. BRS Novo Horizonte - a new cassava variety for industrial use. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.20, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n2c24>

OLIVEIRA FILHO, J. S. How do climate and land-use affect soil carbon and nitrogen stocks and the chemical properties of floodplain soils in tropical drylands?. **Catena**, v.231, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107289>

OLIVEIRA, R. F.; PERAZZO, A. F.; PINA, D. DOS S.; ALBA, H.D.R.; LEITE, V. M.; DOS SANTOS, M. M.; SANTOS, E. M.; SOBRINHO, L. E. C.; PINHEIRO, R. L. S.; AQUINO, E. L.; CARVALHO, G. G.P. Productive and Qualitative Traits of Sorghum Genotypes Used for Silage under Tropical Conditions. **Crops**, v.4, n.2, p.256-269, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/crops4020019>

PALCHETTI, E.; MORETTA, M.; BRILLI, L.; CALAMAI, A.; MANCINI, M.; DELL'ACQUA, M.; ARMANASCO, P.; MASONI, A. Effects of Nitrogen Fertilization and Plant Density on Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) Growth and Yield under Mediterranean Pedoclimatic Conditions. **Agriculture**, v.13, n.1657, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13091657>

PERAZZO, A. F.; CARVALHO, G. G. P.; SANTOS, E. M.; BEZERRA, H. F. C.; SILVA, T. C.; PEREIRA, G. A.; RAMOS, R. C. S.; RODRIGUES, J.A.S. Agronomic Evaluation of Sorghum Hybrids for Silage Production Cultivated in Semiarid Conditions. **Frontiers in Plant Science**, v.8, p.1-8, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01088>

PEREIRA FILHO, I. A.; VIANA, G. F.; CASTRO, R. L.; COTA JUNIOR, M. B. G.; PONTES, A. M. **Cultivo do Milheto**. Comunicado técnico. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Sistema de produção, 5a edição, versão eletrônica, 2016. 116p.

RABELO, F. H. S.; RABELO, C. H. S.; DUPAS, E.; NOGUEIRA, D. A.; REZENDE, A. V. Parâmetros agrônômicos do sorgo em razão de estratégias de semeadura e adubação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.5, n.1, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5777/PAeT.V5.N1.03>

REZENDE, J. DE O. **Solos Coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**, Salvador: Editora SEAGRI-SPA, 2000, 117p.

RIBEIRO, L. P. **Os latossolos amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação**. Salvador: Editora SEPLANTEC, 1998, 99p.

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; ARAUJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 5. edição revisada e ampliada. 2018.

SANTOS, R. D.; PEREIRA, L. G. R.; NEVES, A. L. A.; RODRIGUES, J. A. S.; COSTA, C. T. F.; OLIVEIRA, G. F. Agronomic characteristics of forage sorghum cultivars for silage production in the lower middle San Francisco Valley. **Acta Scientiarum**, n.35, n.1, p.13-19, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v35i1.13072>

SANTOS, R. S.; EMERECIANO NETO, J. V.; BEZERRA, J. D. V.; ALVES, D. J. S.; LISTA, F. N.; DIFANTE, G. S. Características produtivas de cultivares de *Brachiaria brizantha* durante a fase inicial em dois tipos de solo. In: **Congresso brasileiro de zootecnia – zootec**, 29., 2019, Uberaba, MG. Anais eletrônicos. Uberaba: Zootec, 2019. Disponível em: <https://caracteristicas-produtivas-de-cultivares-de-brachiaria-brizantha-durante-a-fase-inicial-em-dois-tipos-de-solo>. Acesso em: 30 abr. 2025.

SILVA, A.; SANTOS, F. L. S.; BARRETTO, V. C. M.; FREITAS, R. J.; KLUTHCOUSKI, J. Recuperação de pastagem degradada pelo consórcio de milho, *Urochloa brizantha* cv. marandu e guandu. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.5, p.39-47, 2018. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v5i2.1382>

SILVA, T. S.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F. **Boletim meteorológico da estação convencional de Cruz das Almas, BA: variabilidade e tendências climáticas**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2016, 72p.

TELLES, T. S, LOURENÇO, M. A. P, OLIVEIRA, J. F, COSTA, G. V; BARBOSA, G. M. C. Soil conservation practices in a watershed in Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.91, n.3, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201920180578>

TEODORO, M. S.; SANTOS, F. J. S.; DE LACERDA, M. N.; ARAÚJO, L. M. S. Biomass yield of crotalaria juncea after thinning and at varied sowing densities in the coastal plateau of piauí state, Brazil. **Revista Caatinga**, v.29, n.4, p. 878-884, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252016v29n412rc>

VAN EERD, L. L.; CHAHAL, I.; PENG, Y.; AWREY, J. C. Influence of cover crops at the four spheres: A review of ecosystem services, potential barriers, and future directions for North America. **Science of The Total Environment**, v.858, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159990>

VOLSI, B.; BORDIN, I.; HIGASHI, G. E.; TELLES, T. S. Economic profitability of crop rotation systems in the Caiuá sandstone area. **Ciência Rural**, v.50, n.2, p.1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190264>

VOLSI, B.; HIGASHI, G. E.; BORDIN, I.; TELLES, T. S. Production and profitability of diversified agricultural systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.93, n.2, p.1-15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120191330>

Capítulo 3

**Viabilidade econômica do sistema de recuperação de pastagens degradadas
no Recôncavo da Bahia**

Viabilidade econômica de sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia

RESUMO: A degradação de pastagens representa um desafio para a produção agropecuária sustentável, demandando estratégias que conciliem recuperação ambiental e retorno econômico. Objetivou-se avaliar a viabilidade econômica de um sistema de recuperação de pastagem, implantado sob sistema de plantio direto, por meio do cultivo de espécies leguminosas, forrageiras e agrícolas, no Recôncavo da Bahia. O experimento foi conduzido no Setor de Forragicultura da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), no município de Cruz das Almas - BA, entre abril de 2022 e julho de 2024, em sistema de plantio direto com delineamento em blocos casualizados, composto por sete tratamentos: T1: Crotalária, T2: Braquiária, T3: Sorgo, T4: Mandioca, T5: Feijão guandu, T6: Milheto e T7: Controle (pastagem degradada), com quatro repetições (blocos). A estimativa do custo operacional efetivo (COE), da receita bruta (RB) e da receita líquida (RL) foi realizada com base nos custos relacionados à aquisição de insumos agrícolas, incluindo fertilizantes, sementes e manivas, bem como nas despesas com manejo de plantas espontâneas, controle de pragas e consumo de combustível. Para fins de amortização dos custos do sistema foram consideradas as produtividades de silagem das culturas de sorgo, milheto e mandioca, além da produção de raízes de mandioca. O custo operacional efetivo para os dois anos de implantação do sistema foi de R\$ 37.205,37, a receita bruta total R\$ 52.274,00, enquanto a receita líquida total foi de R\$ 15.068,63, indicando que o sistema de recuperação de pastagem é economicamente viável para as condições edafoclimáticas e práticas de manejo adotadas para a região do Recôncavo da Bahia.

Palavras-chaves: Análise de custos, Diversificação de culturas, Sistema conservacionista, Análise econômica.

Economic viability of a pastures recovery degraded system in Recôncavo da Bahia

ABSTRACT: Pasture degradation represents a challenge for sustainable agricultural production, requiring strategies that reconcile environmental recovery with economic returns. This study aimed to evaluate the economic feasibility of a pasture recovery system established under no-tillage through the cultivation of leguminous, forage, and agricultural species in the Recôncavo region of Bahia, Brazil. The experiment was conducted at the Forage Sector of the Federal University of Recôncavo da Bahia (UFRB), in Cruz das Almas, BA, between April 2022 and July 2024, in a randomized block design with seven treatments: T1: Sunn hemp, T2: Signal grass, T3: Sorghum, T4: Cassava, T5: Pigeon pea, T6: Pearl millet, and T7: Control (degraded pasture), with four replications (blocks). The estimation of effective operational cost (EOC), gross revenue (GR), and net revenue (NR) was based on expenses associated with the acquisition of agricultural inputs, including fertilizers, seeds, and cassava cuttings, as well as costs related to weed management, pest control, and fuel consumption. To account for cost amortization, silage yields from sorghum, pearl millet, and cassava, as well as cassava root production, were considered. Over the two years of system implementation, the effective operational cost was \$37,205.37, gross revenue totaled \$52,274.00, and net revenue reached \$15,068.63, indicating that the pasture recovery system is economically viable under the edaphoclimatic conditions and management practices adopted in the Recôncavo region of Bahia.

Keywords: Cost analysis, Crop diversification, Conservationist system, Economic analysis.

1. INTRODUÇÃO

A análise econômica de sistemas agropecuários é uma ferramenta essencial no processo de tomada de decisão na gestão da propriedade rural, especialmente no que se refere a maximização da produção e avaliação de riscos (SANTOS et al., 2019). Do ponto de vista econômico, a análise de viabilidade permite estimar o retorno sobre o investimento e a rentabilidade da atividade, sendo um instrumento estratégico para assegurar a continuidade e o planejamento eficiente do empreendimento rural (GOLLO; VIAN; DIEL, 2017; CONTE et al., 2020).

Quando se trata da degradação das pastagens, os desafios como alto custo, à medida que o nível de degradação avança, limitam a adoção de práticas para sua recuperação, sendo necessário a avaliação da viabilidade do sistema e a utilização de estratégias que amortizem os custos (BARBIERI et al., 2022; LAXMAN et al., 2024; RADU et al., 2024).

A adoção de práticas conservacionistas como o sistema de plantio direto, associadas à diversificação de culturas que possibilitam retorno financeiro por meio da produção de forragem, grãos ou silagem, tem sido amplamente estudadas como alternativa para a amortização dos custos de produção (FUENTES-LLANILLO et al., 2018; VOLSI et al., 2020; VOLSI et al., 2021; GARBELINI et al., 2022). Tais práticas, além de contribuir para a melhoria da qualidade do solo, possibilitam a exploração econômica ao longo de todo o ano, contribuindo para o aumento da produtividade a um custo mais reduzido, uma vez que minimiza a necessidade do uso de maquinário e favorece interações entre lavoura e pastagem (BALBINO et al., 2011; KUMARA et al., 2020; VINHOLIS et al., 2021).

A junção de sistemas de uso eficiente do solo com o conhecimento detalhado dos custos e receitas permite avaliar a viabilidade ambiental e econômica das atividades agropecuárias, bem como sua competitividade no mercado. Para isso são utilizados indicadores econômicos que visam analisar de forma precisa os riscos inerentes à práticas agrícolas.

A exemplo, o coeficiente operacional efetivo (COE) é um indicador econômico que contempla todos os custos de produção ao longo do ciclo agrícola (MATSUNAGA et al., 1976), a receita bruta (RB) corresponde ao valor total obtido com a comercialização, sem deduções e, a receita líquida (RL), que, por sua vez,

representa a rentabilidade da atividade após a dedução dos custos operacionais (QUINTINO; PASSOS; RIBEIRO, 2018).

O COE permite mensurar o impacto dos investimentos iniciais, como preparo do solo, aquisição de insumos e implantação de culturas, sobre o custo total. A RB indica o retorno financeiro obtido com a comercialização de produtos, enquanto a RL mostra a rentabilidade real após dedução dos custos, permitindo identificar quais combinações de culturas e manejos oferecem maior retorno. O uso conjunto desses indicadores pode orientar decisões de manejo, apoiar políticas públicas e linhas de crédito, e favorecer a adoção de práticas conservacionistas e, conseqüentemente, a recuperação de áreas degradadas de forma economicamente viável e adaptada às condições locais.

O Recôncavo da Bahia é uma região caracterizada majoritariamente por pequenas e médias propriedades rurais (MENDONÇA, 1998), voltadas, principalmente, à agricultura familiar. Nesse contexto, em que a geração de renda desempenha papel determinante para a sustentabilidade dos sistemas produtivos, indicadores como o COE, RB e RL assumem especial relevância na avaliação da viabilidade econômica dos sistemas e práticas de manejo adotadas.

À vista disto, objetivou-se avaliar a viabilidade econômica de um sistema de recuperação de pastagem implantado sob sistema de plantio direto, por meio do cultivo de espécies leguminosas, forrageiras e agrícolas no Recôncavo da Bahia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área estudada

O estudo foi conduzido no Setor de Forragicultura no Campus da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas (CCAAB/UFRB), localizado no município de Cruz das Almas, Bahia.

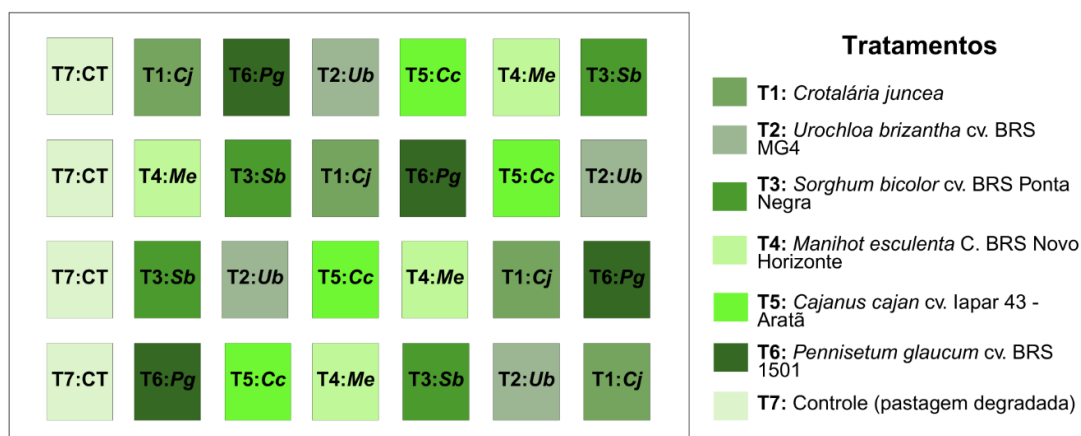
A região faz parte dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil, com clima do tipo Af, classificado como tropical chuvoso de floresta, com temperatura média anual de 24,2°C, pluviosidade média mensal superior a 60 mm e anual de 1500 mm, concentrados entre os meses de março e agosto, enquanto de setembro a fevereiro há uma tendência de períodos prolongados de estiagem (SILVA et al., 2016), e umidade relativa do ar de aproximadamente 82% (KÖPPEN; GEIGER, 1948).

O solo foi classificado como Latossolo Amarelo distrocoeso (SANTOS et al., 2018) e a área encontrava-se em pousio há aproximadamente um ano, estando em processo de degradação, sem manutenção. A área experimental possuía dimensão de 44x30 m (largura x comprimento), sendo 560m² área útil de parcelas (28 parcelas).

2.2. Organização experimental, amostragem e atributos avaliados

O estudo foi realizado em delineamento de blocos casualizados, constituído de sete tratamentos, T1: Crotalária (*Crotalária juncea* L.), T2: Braquiária (*Urochloa brizantha* cv. MG4), T3: Sorgo (*Sorghum bicolor* cv. BRS Ponta Negra), T4: Mandioca (*Manihot esculenta* Crantz BRS Novo Horizonte), T5: Feijão guandu (*Cajanus cajan* L. cv. Iapar 43-Aratã), T6: Milheto (*Pennisetum glaucum* cv. BRS 1501), T7: Controle (área de pastagem degradada), com quatro repetições (blocos), totalizando 28 parcelas experimentais (Figura 1). Cada parcela experimental possuía quatro metros de comprimento e cinco metros de largura (4x5), compreendendo 20m², com corredores de dois metros entre parcelas.

Figura 1. Croqui experimental dos tratamentos implantados em campo no sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia



Fonte: GONÇALVES (2025)

Antes da instalação do experimento, foi realizada a limpeza da área utilizando roçadeira costal, seguido da aplicação do herbicida à base de glifosato Roundup® (2 L ha⁻¹) e também do herbicida Tordon Ultra (3 L ha⁻¹) para eliminar a vegetação espontânea e reduzir a competição com as culturas de interesse. Adicionalmente, foi realizado o controle localizado de formigas cortadeiras com a

aplicação do inseticida a base de fipronil Regent® 800 WG (2 g L⁻¹), com volume de calda de 200 L ha⁻¹ nos bancos de entrada dos formigueiros, utilizando pulverizador costal.

A correção da acidez do solo foi realizada no primeiro ano experimental, antes da implantação das culturas, com base na análise prévia do solo e no método de saturação por bases (V%) recomendado para cada espécie cultivada. A necessidade de calagem foi calculada para elevar a saturação por bases a 50% para Mandioca, 60% para Crotalária, Braquiária e Sorgo, 65% para Milheto e 70% para Feijão guandu. Para atender a essas exigências, foram aplicadas doses de 4,0 t ha⁻¹, 7,2 t ha⁻¹, 6,5 t ha⁻¹, 5,9 t ha⁻¹, 7,0 t ha⁻¹ e 8,2 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 92%), respectivamente, para as culturas citadas anteriormente, sendo essas quantidades divididas entre as quatro parcelas e aplicadas a lanço.

A adubação com nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) foi realizada a lanço nos dois anos agrícolas, de forma individualizada para cada parcela, em cobertura, 15 dias após o plantio (Tabelas 1 e 2). As quantidades de nutrientes foram estabelecidas com base na análise prévia do solo, seguindo as recomendações do Manual de Recomendação para o Uso de Corretivos e Fertilizantes para o Estado de Minas Gerais (ALVAREZ et al., 1999) e do Boletim Técnico da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (PEREIRA FILHO et al., 2016), considerando um sistema de produção de baixo nível tecnológico. Como fontes de nutrientes, foram utilizados fertilizantes formulados NPK na proporção 4-14-8, além de ureia, cloreto de potássio (KCl) e superfosfato simples (SS).

Tabela 1. Adubação química de cobertura realizada nas parcelas experimentais no primeiro ano agrícola

Tratamentos	Parcelas	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
		----- kg ha ⁻¹ -----								
<i>Crotalaria juncea</i>	1	-	20	20						
	8, 16 e 24	-	40	30						
<i>Urochloa brizantha</i>	2 e 11	80	-	20						
	13	80	-	40						
	22	80	70	40						
<i>Sorgo bicolor</i>	3	100	-	120						
	12	100	120	120						
	17 e 19	100	150	180						
<i>Manihot esculenta</i>	4 e 18	30	20	20						
	9 e 20	30	20	30						
<i>Cajanus cajan</i>	5	-	20	30						
	10 e 14	-	40	30						
	21	-	20	20						
<i>Pennisetum glaucum</i>	6	80	-	-						
	7	80	-	50						
	15	80	50	50						
	23	80	80	50						

Parcelas: parcelas identificadas, da direita para a esquerda, no croqui de campo. N: nitrogênio; P₂O₅: fósforo; K₂O: potássio

Tabela 2: Adubação química de cobertura realizada nas parcelas experimentais no segundo ano agrícola

Tratamentos	Parcelas	N			P ₂ O ₅			K ₂ O		
		----- kg ha ⁻¹ -----								
<i>Crotalaria juncea</i>	1, 8, 16 e 24	-	60	60						
<i>Urochloa brizantha</i>	2, 11, 13 e 22	50	40	40						
<i>Sorgo bicolor</i>	3, 12, 17 e 19	80	80	80						
<i>Manihot esculenta</i>	4, 9, 18 e 20	40	80	60						
<i>Cajanus cajan</i>	5, 10, 14 e 21	-	60	60						
<i>Pennisetum glaucum</i>	6, 7, 15 e 23	80	80	80						

Parcelas: parcelas identificadas, da direita para a esquerda, no croqui de campo. N: nitrogênio; P₂O₅: fósforo; K₂O: potássio

A semeadura das culturas foi realizada em cinco linhas de plantio, com espaçamento de 0,7 m entre linhas e a quantidade de sementes utilizadas foi calculada conforme recomendação técnicas para cada espécie: 12 kg ha⁻¹ para o Milheto, 10 kg ha⁻¹ para o Sorgo, 6 kg ha⁻¹ para a Braquiária, 25 kg ha⁻¹ para a Crotalaria e 20 kg ha⁻¹ para o Feijão guandu.

Para o tratamento Mandioca, o plantio foi realizado de forma manual, com manivas de 0,2 m de comprimento, em covas com 0,1 m de profundidade. As manivas utilizadas foram adquiridas junto à Embrapa Mandioca e Fruticultura (ano 1) e à Fazenda Experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (ano 2), sendo utilizada a cultivar BRS Novo Horizonte.

2.3. Análise econômica do sistema

A estimativa do custo operacional efetivo (COE), da receita bruta (RB) e da receita líquida (RL) decorrentes da implantação do sistema foi realizada considerando os custos associados à aquisição de insumos agrícolas, bem como os gastos com sementes e manivas, manejo de plantas espontâneas, controle de pragas e o custo com combustível para uso de roçadeira costal (MATSUNAGA et al., 1976; QUINTINO; PASSOS; RIBEIRO, 2018).

Nas Tabelas 3 e 4, insumos, preparos e plantio foram estimados por área útil de parcela (560 m²), enquanto custos com tratos culturais e manejo de plantas espontâneas estimados por área experimental total (1320 m²). O manejo de pragas e plantas espontâneas foi realizado quatro vezes ao longo de cada ano de cultivo.

A aquisição do combustível foi efetuada no início de cada ano agrícola, sendo seu uso conforme a demanda das operações realizadas ao longo do ciclo produtivo, considerou-se o preço praticado no período de aquisição. Para a estimativa de custo das manivas, considerou-se o valor unitário praticado pela Embrapa Mandioca e Fruticultura no período de plantio, equivalente a R\$ 0,35 por miniestaca. Para a estimativa da quantidade de manivas utilizadas por hectare, determinou-se o número de plantas por hectare (19.722 plantas/ha).

Os custos relacionados à aquisição da terra, depreciação de bens, custo por hora-máquina e mão de obra foram desconsiderados na análise econômica, uma vez que o experimento foi conduzido em área pertencente à União, não incidindo tais encargos sobre o sistema avaliado. Ressalta-se, ainda, que o valor da terra apresenta significativa variabilidade entre as diferentes regiões (Estaduais e Federais). Logo, a junção dos custos operacionais com os custos relativos supracitados, deve ser realizada considerando as especificidades de cada localidade avaliada.

Para a avaliação da amortização dos custos de implantação do sistema foi estimada a produção em silagem (PSI) em kg ha⁻¹, considerando um aproveitamento de 85% para todos os tratamentos avaliados. O valor de mercado considerado foi de R\$ 0,90 kg⁻¹ para a silagem de Milheto, R\$ 0,85 kg⁻¹ para a silagem de Sorgo e R\$ 0,65 kg⁻¹ para a silagem de Mandioca, conforme as cotações regionais referentes ao período do estudo. Para o tratamento Mandioca, também foi estimada a produtividade comercial de raízes (PR) por meio da contagem e

pesagem das raízes, adotando-se o preço de R\$ 0,50 kg⁻¹, considerando o mercado para casa de farinha local.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os custos operacionais associados ao primeiro ano de implantação do sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia (Quadro 1), considerando os insumos utilizados e manejos realizados, verificou-se COE total de R\$ 19.278,44. Deste valor, aproximadamente 69,4% correspondeu às etapas iniciais de preparo do solo e estabelecimento das culturas. As atividades relacionadas aos tratos culturais representaram cerca de 1,48%, enquanto o manejo de plantas espontâneas respondeu por 29,1% do total.

Quadro 1. Custos operacionais associados ao primeiro ano de implantação do sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia

Atividades	Descrição	Uni.	Quant.	R\$/uni.	R\$/total	R\$/ha
Insumos, preparos e plantio	Calcário	Kg	77,50	0,46	35,65	742,71
	NPK	Kg	10,00	2,80	28,00	1400,00
	Uréia	Kg	4,30	5,00	21,50	671,88
	S. simples	Kg	3,00	3,00	9,00	562,50
	KCl	kg	2,64	3,90	10,30	234,00
	Crotalária	Kg	0,20	56,00	11,20	1400,00
	Braquiária	Kg	0,05	25,00	1,20	150,00
	Sorgo	Kg	0,08	42,00	3,36	420,00
	Mandioca	miniestaca	150,00	0,35	52,50	6902,70
	Feijão guandu	Kg	0,16	39,00	6,24	780,00
Milheto	Kg	0,10	10,35	0,99	124,20	
Tratos silviculturais	Combustível	L	6,00	6,29	37,74	285,91
Manejo de pragas e plantas espontâneas	Roundup	L/ha	1,10	72,00	79,20	600,00
	Tordon	L/ha	1,60	90,00	144,00	1090,91
	Regent WG	kg/ha	0,21	2460,00	516,60	3913,64
COE TOTAL					R\$/ha 19.295,74	

Uni: Unidade de medida; Quant: Quantidade utilizada no experimento; R\$/uni: preço por unidade de medida, com base no comércio local; R\$/total: preço por quantidade utilizada no experimento, com base no comércio local; R\$/total: preço por hectare, com base no comércio local; NPK: Adubo formulado com Nitrogênio, fósforo e Potássio (4-14-18); S.simples: Superfosfato Simples; COE TOTAL: Custo operacional efetivo total

Os resultados indicam que os investimentos concentrados nas fases iniciais do sistema são os principais responsáveis pelos elevados custos em um curto intervalo de tempo, refletindo a demanda de insumos e operações iniciais necessárias à recuperação de áreas de pastagem.

Segundo Barbieri et al. (2022), uma das principais limitações à adoção de sistemas conservacionistas, como o plantio direto ou agricultura de conservação, refere-se aos altos custos iniciais associados à sua implementação. Ademais, o acesso a informações técnicas, a incerteza quanto à rentabilidade econômica, a ausência de incentivos estruturais, aspectos socioculturais e a resistência à substituição de métodos convencionais de cultivo também contribuem para a baixa taxa de adesão, principalmente por pequenos produtores rurais (CHRISTOPHER et al., 2024; RADU et al., 2024).

Ao avaliar os impactos do cultivo conservacionista nas propriedades do solo e no rendimento das culturas, Volsi et al. (2021) e Laxman et al. (2024) afirmaram que, embora os investimentos iniciais em práticas agrícolas sustentáveis sejam mais elevados, os resultados demonstram que esses custos são compensados ao longo do tempo por melhorias na qualidade do solo e, conseqüentemente, maiores produtividades e melhores preços de mercado.

No segundo ano de avaliação do sistema (Quadro 2), o COE totalizou R\$ 17.909,63, indicando uma redução em relação ao primeiro ano (Quadro 1). Esse resultado indica que, ao longo do tempo, os custos associados ao sistema tendem a diminuir, a depender das exigências específicas de manejo da área, o que pode contribuir para tornar o sistema mais rentável e menos oneroso ao produtor. Do total de custos registrados, 67,04% foram atribuídos às atividades de plantio e estabelecimento das culturas, 1,66% aos tratamentos culturais e 31,29% ao manejo de plantas espontâneas.

Quadro 2. Custos operacionais associados ao segundo ano de implantação do sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia

Atividades	Descrição	Uni.	Quant.	R\$/uni.	R\$/total	R\$/ha
Insumos, preparos e plantio	Uréia	Kg	4,50	5,00	22,50	703,13
	S. Simples	Kg	17,80	3,00	53,40	1112,50
	KCl	Kg	5,10	3,90	19,89	414,38
	Crotalária	Kg	0,20	56,00	11,20	1400,00
	Braquiária	Kg	0,05	25,00	1,20	150,00
	Sorgo	Kg	0,08	42,00	3,36	420,00
	Mandioca	Miniestaca	150,00	0,35	52,5	6902,70
	Feijão guandu	Kg	0,16	39,00	6,24	780,00
	Milheto	Kg	0,10	10,35	0,99	124,20
Tratos silviculturais	Combustível	L	6,00	6,56	39,36	298,18
Manejo de pragas e plantas espontâneas	Roundup	L/há	1,10	72,00	79,20	600,00
	Tordon	L/há	1,60	90,00	144,00	1090,91
	Regent WG	kg/há	0,21	2460,00	516,60	3913,64
COE TOTAL					R\$/ha 17.909,63	

Uni: Unidade de medida; Quant: Quantidade utilizada no experimento; R\$/uni: preço por unidade de medida, com base no comércio local; R\$/total: preço por quantidade utilizada no experimento, com base no comércio local; R\$/total: preço por hectare, com base no comércio local; NPK: Adubo formulado com Nitrogênio, fósforo e Potássio (4-14-18); S.simples: Superfosfato Simples; COE TOTAL: Custo operacional efetivo total

Os custos relacionados ao manejo de pragas e plantas espontâneas representaram o segundo maior investimento no sistema. Esse resultado é atribuído ao período de transição entre a pastagem degradada e o estabelecimento do sistema de plantio direto onde, durante o qual a limitada cobertura do solo favorece o crescimento de plantas espontâneas e aumenta a suscetibilidade das culturas ao ataque de pragas. Com o avanço do sistema e o acúmulo de palhada na superfície, esse custo tende a reduzir gradualmente devido a maior proteção do solo (LAXMAN et al., 2024).

Na análise da estimativa de produtividade das culturas com potencial para amortização de custos no primeiro ano do sistema (Tabela 3), o tratamento com Mandioca apresentou produção de 3.620 kg ha⁻¹ de silagem, além de gerar 13.695 kg ha⁻¹ de raízes. O Sorgo obteve produtividade de silagem de 10.740 kg ha⁻¹ enquanto o Milheto registrou 7.749 kg ha⁻¹.

Tabela 3. Estimativa da produção, comercialização e receita bruta das culturas utilizadas como espécies amortizadoras no sistema de recuperação de pastagens degradadas no primeiro ano agrícola

Tratamentos	PSI	PR	R\$ Silag.	RB Silag.	R\$ Raiz	RB Raiz
Mandioca	3.620	13.695	0,65	2.353,00	0,50	6.848,00
Sorgo	10.740	-	0,85	9.129,00	-	-
Milheto	7.749	-	0,90	6.974,00	-	-
R\$/ha	-	-	-	18.456,00	-	6.848,00

PSI=Produção de silagem (kg ha⁻¹); PR: Peso de raiz (kg ha⁻¹); R\$ Silag.: Valor da venda da quilo da silagem; RB Silag.: Renda Bruta da venda da silagem; R\$ Raiz: Valor da venda da quilo da mandioca para casas de farinha da região; RB Raiz: Renda Bruta da venda do kg da mandioca; R\$/ha: Renda bruta por hectare

No que se refere ao rendimento econômico estimado no primeiro ano de avaliação do sistema, a silagem de Mandioca gerou RB de R\$ 2.353,00, enquanto a comercialização das raízes resultou em uma RB de R\$ 6.848,00. A produção de silagem de Sorgo proporcionou RB de R\$ 9.129,00, e o Milheto, RB R\$ 6.974,00 (Tabela 3). Assim, a RBT proveniente da produção de silagem no primeiro ano foi de R\$ 18.456,00, enquanto a receita oriunda das raízes de Mandioca foi de R\$ 6.848,00.

No segundo ano de avaliação, o tratamento Mandioca apresentou produtividade de 8.691 kg ha⁻¹ de silagem e 18.748 kg ha⁻¹ de raízes (Tabela 4). O Sorgo alcançou 9.523 kg ha⁻¹ de silagem, enquanto o Milheto produziu 4.280 kg ha⁻¹. A RBT estimada com a comercialização da silagem dos três tratamentos foi de R\$ 17.596,00, ao passo que a produção de raízes de Mandioca resultou em uma RB de R\$ 9.374,00, demonstrando o potencial econômico complementar dessas culturas no sistema de recuperação de pastagens.

Tabela 4. Estimativa da produção, comercialização e receita bruta das culturas utilizadas como espécies amortizadoras no sistema de recuperação de pastagens degradadas no segundo ano agrícola

Tratamentos	PSI	PR	R\$ Silag.	RB Silag.	R\$ Raiz	RB Raiz
Mandioca	8.691	18.748	0,65	5.649,00	0,50	9.374,00
Sorgo	9.523	-	0,85	8.095,00	-	
Milheto	4.280	-	0,90	3.852,00	-	
R\$/ha	-	-	-	17.596,00	-	9.374,00

PSI=Produção de silagem (kg ha⁻¹); PR: Peso de raiz (kg ha⁻¹); R\$ Silag.: Valor da venda da quilo da silagem; RB Silag.: Renda Bruta da venda da silagem; R\$ Raiz: Valor da venda da quilo da mandioca para casas de farinha da região; RB Raiz: Renda Bruta da venda do kg da mandioca; R\$/ha: Renda bruta por hectare

Em um estudo acerca da análise econômico-financeira (RB, RL, VPL e B/C) para soja em sucessão ao milho no Sudoeste da Amazônia, Quintino et al. (2018) observaram rentabilidade da atividade no cenário base, obtendo uma RB de R\$ 4.270 ha⁻¹ e lucro operacional positivo, além disso, indicaram que o sistema sofre alta sensibilidade a variações de preços e produtividade.

Ao avaliarem o custo de produção da silagem de milho no norte do estado de São Paulo, Miguel et al. (2023) constataram que, embora a cultivar P4285VYHR apresentasse COE 2,4% superior ao da P4285R, sua produtividade 34% maior reduziu o custo por tonelada e ampliou a viabilidade econômica da produção, evidenciando que a RB e a RL são diretamente condicionadas pelo rendimento físico.

Ademais, ao avaliarem o efeito da substituição parcial da silagem de milho (SM) pela silagem da rama de mandioca (SRM) na produção de leite, Santos et al. (2009) observaram que substituir 20% a 60% da SM por SRM reduziu significativamente os custos de alimentação em comparação ao uso exclusivo de SM. Os autores concluíram que a SRM é um bom substituto da SM para vacas leiteiras. Assim como em Santos et al. (2009), no presente estudo, a utilização da mandioca demonstrou pontencial significativo de agregar valor ao sistema, contribuindo com a amortização dos custos de produção.

Ao final de dois anos de cultivo, a análise econômica da implantação do sistema revelou um COE total de R\$ 37.205,00 e uma RBT de R\$ 52.274,00. Com

base nesses valores, a RLT foi de R\$ 15.068,63 evidenciando a viabilidade econômica do sistema de recuperação de pastagem nas condições avaliadas (Tabela 5).

Tabela 5. Estimativa do custo operacional total, renda bruta total e renda líquida total da implantação de um sistema de recuperação de pastagens degradadas no Recôncavo da Bahia ao longo de dois anos

COE TOTAL	RBT	RLT
37.205,37	52.274,00	15.068,63

COE: Custo operacional total por hectare; RBT: Renda bruta total por hectare; RLT: Renda líquida total por hectare

A RBT obtida a partir da estimativa de comercialização da silagem dos três tratamentos (Mandioca, Sorgo e Milheto) nos dois anos de avaliação foi de R\$ 36.052,00. Quando incluída a venda das raízes de Mandioca, a RBT estimada alcançou R\$ 52.274,00 (Tabela 5).

Os resultados obtidos ressaltam a relevância da Mandioca não apenas como cultura de subsistência em pequenas propriedades, mas também como componente estratégico na maximização da rentabilidade agrícola. A análise demonstrou que, na ausência da receita proveniente da comercialização das raízes da Mandioca, a renda líquida final do sistema seria reduzida em 92,35%, evidenciando sua contribuição decisiva para a viabilidade econômica do arranjo produtivo avaliado (LOBO; SANTOS JÚNIOR; NUNES, 2018).

Ao avaliar a viabilidade econômica da produção de milho de silagem no Sudeste de Goiás, Rocha et al. (2021) verificaram que, o custo operacional total foi de R\$ 15.680,08 para a produção de 197 t, comercializadas a R\$ 150,00/t, resultando em receita bruta de R\$ 29.250,00. A análise de sensibilidade indicou que, mesmo com aumentos consideráveis nos custos, o empreendimento permaneceu rentável na área estudada, obtendo uma RL de cerca de R\$ 13.500,00.

Em seus estudos acerca dos sistemas de recuperação de pastagens degradadas, Verdi (2018) registrou receitas de R\$ 675,00 ha⁻¹ em pastagens degradadas e R\$ 1.530,00 ha⁻¹ em pastagens recuperadas, com custo de R\$ 3.007,38 ha⁻¹. Esses resultados demonstram que a melhoria das condições das

pastagens contribui para o aumento da rentabilidade dos sistemas produtivos, evidenciando a importância de estudos como este.

Os resultados evidenciam que a recuperação de pastagens pode constituir uma prática sustentável e, ao mesmo tempo, viável economicamente para o produtor, desde que conduzida de forma adequada. É válido ressaltar que há uma diversidade de sistemas de manejo passíveis de adoção para a recuperação de áreas degradadas, os quais podem demandar diferentes níveis de investimento e recursos, sendo a sua viabilidade fortemente condicionada por diversos fatores, dentre eles as características regionais, as práticas de manejo, a sazonalidade, o rendimento físico e a produtividade alcançada, de modo que sua avaliação e escolha deve ser específica para cada situação produtiva (COSTA et al., 2024).

A Embrapa recomenda diferentes sistemas para a recuperação de pastagens degradadas, como os sistemas Barreirão, Santa Fé e Santa Brígida, que envolvem o consórcio de gramíneas forrageiras com culturas anuais, leguminosas e espécies produtoras de grãos, predominantemente em sistema de plantio direto. Esses modelos, assim como os sistemas São Mateus, Santa Ana, São Francisco, Gravataí, Boi safrinha e Pontal, apresentam particularidades adaptáveis às condições edafoclimáticas e aos recursos disponíveis em cada região, com foco na restauração da produtividade e sustentabilidade das áreas degradadas (CORDEIRO et al., 2015).

Vieira e Wander (2023), ao realizarem uma análise sistemática da literatura sobre avaliação econômica e de risco em sistemas de sucessão e rotação de culturas agrícolas sob plantio direto, concluíram, com base nos resultados analisados, que as práticas de agricultura conservacionista, além de proporcionarem benefícios agronômicos, apresentam também vantagens econômicas, configurando-se como estratégias eficazes para a mitigação dos riscos inerentes a sistemas agrícolas. Em acréscimo, Volsi et al. (2021), ao avaliarem diferentes sistemas de produção e rotação de culturas com foco no desempenho agronômico, concluíram que sistemas mais diversificados, com maior número de cultivos comerciais, proporcionam maiores lucros e aumento na renda bruta, ainda que estejam associados a custos operacionais mais elevados, sendo alternativas viáveis na busca de tecnologias mais sustentáveis.

Nesse contexto, a definição de estratégias para recuperação de áreas degradadas requer o conhecimento das condições edafoclimáticas locais, a

seleção adequada das espécies, o manejo apropriado e a clareza quanto aos objetivos produtivos. Essas decisões são primordiais para alcançar a melhoria das propriedades do solo, o aumento da produtividade, a viabilidade econômica do sistema e a promoção da sustentabilidade em longo prazo.

4. CONCLUSÃO

O sistema de recuperação de pastagens degradadas, considerando as condições edafoclimáticas e as estratégias de manejo adotadas para o Recôncavo da Bahia, apresentou viabilidade econômica, obtendo retorno financeiro de R\$ 15.608,63 em dois anos de implantação, evidenciando seu potencial de aplicação em contextos produtivos similares.

5. REFERÊNCIAS

ALVAREZ, V. V. H.; RIBEIRO, A. C. CALAGEM. IN: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; AALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p.43-60.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO DA SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.10, p.1-13, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000001>

BARBIERI, R. S.; TROLEIS, M. J. B.; DE SOUZA, P. T.; RODRIGUES, B. H. V.; SABBAG, O. J.; MONTANARI, R. Análise técnico-econômica de sistemas de recuperação de pastagens de *Urochloa brizantha* CV. Marandu. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente - RAMA**, v.15, n.1, 2022. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2022v15n1e8380>

CHRISTOPHER, J. Adoption of Sustainable Farming Practices in the United States: A Study on Farmer Behavior. **International Journal of Agriculture**, v.9, n.4, p.35-46, 2024. DOI: <https://doi.org/10.47604/ija.2533>

CONTE, O.; FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; JUNIOR, A. A. B. MANEJO DO SOLO. IN: SEIXAS, C. D. S.; NEUMAIER, N.; JUNIOR, A. A. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; LEITE, R. M. V. B. C. (Ed.). **Tecnologias de produção de soja**. Londrina Embrapa Soja, p.347 Cap. 3, 2020, p.53-80.

CORDEIRO, L. A. M.; VILELA, L.; KLUTHCOUSKI, J.; MARCHÃO, R. L. (ed.). Integração Lavoura Pecuária-Floresta: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 393 p. (**Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas**).

COSTA, A. D.; RICARTE, T. L.; CORDEIRO JUNIOR, J. J. F.; RIBEIRO, K. V.; HOLANDA, T. C.; KLOECKNER, N. V. DA R.; OLIVEIRA, F. M.; HOLANDA, G. M. DE L. Custos da produção de silagem de milho: um estudo de caso. **Revista Contemporânea**, v.4, n.1, p.3791-3820, 2024. DOI: <https://doi.org/10.56083/RCV4N1-209>

FUENTES-LLANILLO, R.; TELLES, T. S.; VOLSI, B., SOARES, D.; CARNEIRO, S. L.; GUIMARÃES, M.F. Profitability of no-till grain production systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v.39, n.1, p.77-86, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n1p77>

GARBELINI, L.G.; DEBIASI, H.; JUNIOR, A.A.B.; FRANCHINI, J.C.; COELHO, A. E.; TELLES, T.S. Diversified crop rotations increase the yield and economic efficiency of grain production systems. **European Journal of Agronomy**, v.137, p.1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126528>

GOLLO, V.; VIAN, M.; DIEL, F. J. Análise da viabilidade econômico-financeira das atividades leiteira e suinícola em uma propriedade rural. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 24., 2017, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 2017, p.4289–4399.

KOPPEN, W.; GEIGER. R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1948.

KUMARA T. K., KANDPAL A., PAL S. A meta-analysis of economic and environmental benefits of conservation agriculture in South Asia. **Journal of Environmental Management**, v. 269, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110773>

LAXMAN, T.; YAMUNA, C.; RAJESHWAR REDDY, T.; SUDHAKAR, S. Impact of conservation tillage on soil properties and crop yield: A review. **International Journal of Research in Agronomy**, n.7, v.9, p.862-867, 2024. DOI: <https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i9k.2396>

LOBO, I. D.; SANTOS JÚNIOR, C. F.; NUNES, A. Importância socioeconômica da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) para a comunidade de Jaçapetuba, município de Cametá, PA. **Multitemas**, v.23, n.55, p.195-211, 2018. DOI: <https://doi.org/10.20435/multi.v23i55.1913>

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P. E. N.; DULLEY, R. D.; OKAWA, H.; PEROSO, I. A. **Metodologia de custo de produção utilizado pelo IEA**. Agricultura em São Paulo, v.23, n.1, p.123-139, 1976.

MENDONÇA, J. O. Agricultura e a agroindústria no Recôncavo. **Bahia Agrícola**, v.2, n. 2, 1998.

MIGUEL, F. B.; BÁRBARO-TORNELI, I. M.; GONÇALVES, E. C. P.; SILVA, J. A. A.; FARIA, M. H. Custos de produção: silagem de milho na Região Norte do Estado de São Paulo. **Nucleus**, p. 201-205, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3738/1982.2278.4143>.

OBSERVATÓRIO DE CONHECIMENTO E INOVAÇÃO EM BIOECONOMIA DA FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS (OCBio/FGV). **Custos de recuperação de áreas degradadas na Amazônia brasileira**. FGV, Centro de Estudos do agronegócio, 2023. Disponível em: https://agro.fgv.br/noticia/custos-de-recuperacao-de-areas-degradadas-na-amazonia-brasileira?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 18 ago. 2025.

PEREIRA FILHO, I. A.; VIANA, G. F.; CASTRO, R. L.; COTA JUNIOR, M. B. G.; PONTES, A. M. Cultivo do Milheto. **Comunicado técnico**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Sistema de produção, 5ª edição, versão eletrônica, 2016. 116p.

QUINTINO, S. M.; PASSOS, A. M. B.; RIBEIRO, R. DA S. Avaliação Econômico-financeira da soja em sistema integrado em sucessão ao milho na região do Sudoeste da Amazônia. **Enciclopédia Biosfera**, v.15 n.28, p.180, 2018. DOI: https://doi.org/10.18677/EnciBio_2018B16

RADU, M.; BOLOHAN, C.; MIHALASCU, C.; MARUTESCU, A.; NEWBERT, M.; VASILEIADIS, V.. Conservation agriculture impact on soil and crop productivity: a review of long-term field trials. **AAB Bioflux**, v.16, n.1, 2024.

ROCHA, L. G.; SILVA, A. C.; ARAUJO. M. S.; MACHADO, L. K. M.; FERNANDES, F. B.; MACHADO, L. O. Estudo econômico da produção de milho de silagem no Sudeste de Goiás. **Cadernos de Ciências & Tecnologia**, v. 38, n. 1, p. E26760, 2021. DOI: <https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2021.v38.26760>

SANTOS, H. G. DOS; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. DOS; OLIVEIRA, V. A. DE; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. DE; ARAUJO FILHO, J. C. DE; OLIVEIRA, J. B. DE; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. edição revisada e ampliada. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; NASCIMENTO JUNIOR, A.; SANTI, A.; DALMAGO, G.A. Avaliação de sistemas de rotação de culturas na análise econômica e de risco, nas décadas de 1980 a 2010. In: SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; SPERA, S.T.; DALMAGO, G.A.; PIRES, J.L.F.; SANTI, A. (Ed.). **Sistemas de produção para cereais de inverno: três décadas de estudos**. Brasília, DF: Embrapa, 2019a. Cap. 8, p.256-307.

SANTOS, G. T.; MODESTO, E. C.; SOUZA, N. E.; ÍTAVO, L. C. V.; JOBIM, C. C.; KAZAMA, D. C. S.; VALLOTO, A. A.; MASSUDA, E. M. Replacement of corn silage with cassava foliage silage in the diet of lactating dairy cows: milk composition and economic evaluation. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132009000700033>

SILVA, T. S.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F. **Boletim meteorológico da estação convencional de Cruz das Almas, BA: variabilidade e tendências climáticas**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2016, 72p.

TEXEIRA, S. R.; CALSAVARA, L. H. F.; MULLER, M. D.; MARTINS, C. E. Estudo de caso em propriedade leiteira avaliando sinergismo com integração Lavoura-Pecuária-Floresta. **Curricular Técnica** 117, Embrapa, p. 1-17, 2018.

VERDI, P. H. P. **Análise da viabilidade econômica de sistemas de recuperação de pastagens degradadas em solos arenosos**. 2018. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) - Fundação Getúlio Vargas EESP/FGV, São Paulo, 2018.

VIEIRA, F. P.; WANDER, A. E. Avaliação econômica e de risco de sistemas de sucessão e rotação de culturas agrícolas em sistema plantio direto: uma revisão sistemática de literatura. In: **CONGRESSO DA SOBER – SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL**, 61., 2023, Piracicaba, SP. Anais eletrônicos. Piracicaba: SOBER, 2023.

VINHOLIS, M. M. B.; SOUZA FILHO, H. M.; SHIMATA, I.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEDROSO, A. F. Economic viability of a crop-livestock integration system. **Ciência Rural**, v.51, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190538>

VOLSI, B.; BORDIN, I.; HIGASHI, G. E.; TELLES, T. S. Economic profitability of crop rotation systems in the Caiuá sandstone area. **Ciência Rural**, v.50, n.2, p.1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190264>

VOLSI, B.; HIGASHI, G. E.; BORDIN, I.; TELLES, T. S. Production and profitability of diversified agricultural systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v.93, n.2, p.1-15, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120191330>

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação conduzida integrou, de forma inédita para o contexto regional, indicadores de qualidade do solo, desempenho agrônomo de culturas sob plantio direto e métricas de viabilidade econômica, oferecendo um panorama completo da recuperação de uma pastagem degradada nas condições edafoclimáticas locais.

A viabilidade econômica do sistema foi, em grande parte, influenciada positivamente pelo cultivo da Mandioca. A importância estratégica da Mandioca para a rentabilidade do sistema ficou evidente nas condições analisadas, evidenciando a relevância dessa cultura no cenário regional, principalmente quando se trata de agricultura familiar.

A recuperação de pastagens degradadas é processual e cumulativa, exigindo continuidade de técnicas de manejo adequadas para consolidar as melhorias físicas e enfrentar os condicionantes químicos. Recomenda-se avançar com rotações e consórcios ajustados ao objetivo produtivo (forragem, grãos, silagem) e ao ambiente local, considerar sistemas integrados para recuperação de pastagens, manter cobertura permanente do solo e adotar correções e adubações do solo criteriosas, com monitoramento periódico de indicadores de solo, crescimento e desempenho econômico, a fim de aumentar a resiliência do sistema, sustentar a produtividade e potencializar a recuperação da área experimental, podendo ser esse arranjo replicado em condições edafoclimáticas semelhantes.