

UFRRJ
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

TESE

**Estratégias para Recuperação e Renovação de Pastagem
Degradada de *Urochloa decumbens***

Jaciara Diavão

2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL**

**ESTRATÉGIAS PARA RECUPERAÇÃO E RENOVAÇÃO DE
PASTAGEM DEGRADADA DE *UROCHLOA DECUMBENS***

Jaciara Diavão

Sob a Orientação do Professor
Carlos Augusto Brandão de Carvalho

e Coorientação do Pesquisador
Carlos Augusto de Miranda Gomide

e Coorientação do Professor
Nivaldo Schultz

Tese submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **Doutora** no
Programa de Pós-Graduação em Ciência
Animal, Área de Concentração em
Zootecnia.

Seropédica, RJ
Abril de 2022

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

D536e Diavão , Jaciara, 1988-
Estratégias para recuperação e renovação de pastagem
degradada de Urochloa decumbens / Jaciara Diavão . -
Seropédica, 2022.
92 f.: il.

Orientadora: Carlos Augusto Brandão de Carvalho.
Coorientador: Carlos Augusto de Miranda Gomide.
Coorientador: Nivaldo Schultz.
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, Ciência animal, 2022.

1. Calagem e adubação de pastagens. 2. Composição
morfológica. 3. Densidade do solo. 4. Massa e acúmulo
de forragem. 5. Resistência do solo à penetração. I.
Brandão de Carvalho, Carlos Augusto , 1971-, orient.
II. de Miranda Gomide, Carlos Augusto , 1971-,
coorient. III. Schultz, Nivaldo , 1978-, coorient. IV
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Ciência
animal. V. Título.



TERMO Nº 349 / 2022 - PPGZ (12.28.01.00.00.00.61)

Nº do Protocolo: 23083.021217/2022-08

Seropédica-RJ, 06 de abril de 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
JACIARA DIAVÃO

Tese submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutora**, no Programa de Pós Graduação em Ciência Animal, Área de Concentração em Zootecnia.

TESE APROVADA EM 08/04/2022.

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020, tendo em vista a implementação de trabalho remoto e durante a vigência do período de suspensão das atividades acadêmicas presenciais, em virtude das medidas adotadas para reduzir a propagação da pandemia de Covid-19, nas versões finais das teses e dissertações as assinaturas originais dos membros da banca examinadora poderão ser substituídas por documento(s) com assinaturas eletrônicas. Estas devem ser feitas na própria folha de assinaturas, através do SIPAC, ou do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) e neste caso a folha com a assinatura deve constar como anexo ao final da tese / dissertação.

Banca Examinadora:

Carlos Augusto Brandão de Carvalho, Dr. UFRRJ - (Presidente)

Adenilson José Paiva, Dr. UFRRJ

André Moraes Moura, Dr. UFRRJ

Carlos Eugênio Martins, Dr. EMBRAPA

Vanessa Zironi Longhini, Dr. UNESP

(Assinado digitalmente em 06/04/2022 14:57)
ADENILSON JOSE PAIVA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptNAP (12.28.01.00.00.00.62)
Matrícula: 3157825

(Assinado digitalmente em 07/04/2022 10:16)
ANDRE MORAIS MOURA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DPA (12.28.01.00.00.00.63)
Matrícula: 3058101

(Assinado digitalmente em 08/04/2022 14:12)
CARLOS AUGUSTO BRANDAO DE CARVALHO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptNAP (12.28.01.00.00.00.62)
Matrícula: 1322816

(Assinado digitalmente em 11/04/2022 10:24)
CARLOS EUGÊNIO MARTINS
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 166.983.986-91

(Assinado digitalmente em 06/04/2022 17:30)
VANESSA ZIRONDI LONGHINI
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 401.392.838-89

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre me dar forças e sempre me proteger.

À minha família, meus pais e irmãs por sempre me apoiar a correr atrás dos meus objetivos.

Ao Abias eu agradeço por todo apoio e incentivo, obrigado por torcer por mim!

Ao meu orientador, Carlos Augusto Brandão de Carvalho pela orientação, por estar sempre presente, pela confiança em mim depositada e ensinamentos durante todos esses anos.

Ao meu coorientador Nivaldo Schultz por todos os ensinamentos transmitidos durante o trabalho a campo e de laboratório, todo esse processo ficou menos árduo com sua orientação.

Ao meu coorientador Carlos Augusto de Miranda Gomide por não medir esforços para que eu pudesse realizar meu experimento da melhor forma possível, principalmente durante a pandemia. Sua orientação foi fundamental tanto profissional quanto pessoal.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) – Gado de Leite pela oportunidade e suporte para condução do experimento de campo e análises laboratoriais.

Aos pesquisadores da EMBRAPA Gado de Leite que também contribuíram com meu trabalho e com minha formação, tanto pessoal como profissional ao longo dos anos que passei na EMBRAPA, Domingos Sávio Campos Paciullo, Alexandre Magno Brighenti dos Santos, Carlos Eugênio Martins, Mirton José Frota Morenz.

Aos funcionários da Embrapa Gado de Leite por tornarem o trabalho menos árduo, além de serem fundamentais para realização do trabalho e coleta a campo, Jonas Amaral e Diogo Guedes Baldi que sempre fizeram as coisas acontecerem da melhor forma. Agradeço muito aos funcionários da pastagem Evandro, Reginaldo, Leonardo, Seu Rubens, Deusa, Gilberto, Seu Mariano, Binha, Seu Jaci, que além de todo apoio nunca perderam a oportunidade de dar boas risadas.

Ao meu quarteto fantástico Tamara, Marcos e Larissa pelas inúmeras experiências e conversas ao longo desses anos, o apoio de vocês foi fundamental para que eu chegasse até aqui.

Meu time do sucesso, Natalia, Patricia, Conrado, Eduardo e Daiana, pelo apoio moral, físico e psicológico durante todos esses anos, jamais esquecerei a experiência e tudo que aprendi com vocês, obrigado por tornarem os dias menos árdusos e mais felizes, demorou mas chegou a exaltação!

Aos meus amigos/irmãos da pós graduação da UFRRJ, Felipe, Tulio, Ana Carla e Debora, em especial à Lorhaine por sempre me falar “umas verdades” obrigada por me acolherem e não me deixarem enlouquecer (muito), obrigada por tudo elite da pós!!

Aos meus companheiros de luta: Deygiane Xavier e Lucas Justino pelas alegrias e tristezas compartilhadas.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, e ao Programa de Pós Graduação em Zootecnia pela minha formação profissional, em especial ao secretário acadêmico Marcelo Miranda que sempre com muita competência e total dedicação sempre trabalhou para que tudo corresse da melhor forma.

A todos que, direta ou indiretamente, auxiliaram na realização deste trabalho.

A todos vocês, que me ajudaram a concretizar meu sonho, muito obrigada!!!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

EPIGRAFE

“A ciência serve para nos mostrar o quão grande é a nossa ignorância”

Félicité Robert de Lamennais

RESUMO

DIAVÃO, Jaciara. **Estratégias para recuperação e renovação de pastagem degradada de *Urochloa decumbens***. 2022. 92p. Tese (Doutorado em Zootecnia). Instituto de Zootecnia, Departamento de Nutrição Animal e Pastagens, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

O objetivo do presente estudo foi avaliar diferentes estratégias de recuperação e renovação de pastagem degradada em área de morro na Zona da Mata de Minas Gerais. Avaliou-se os atributos químicos e físicos do solo, massa, composição botânica e morfológica, acúmulo e valor nutritivo da forragem. Foram testados cinco tratamentos dispostos sob um delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram: controle (CTRL) – pastagem degradada de *Urochloa (Brachiaria) decumbens* cv. Basilisk sem calagem e adubação; CAL – calagem de manutenção; CAL+P – calagem e adubação fosfatada de manutenção; CAL+NPK – calagem e adubações nitrogenada, fosfatada e potássica de manutenção e QCAL+NPK – calagem a adubação nitrogenada, fosfatada e potássica de formação, associadas à renovação com implantação de *Megathyrus maximus* cv. BRS Quênia. Para os atributos químicos e físicos do solo considerou-se o arranjo de parcelas subdivididas com os tratamentos na parcela e as profundidades do solo (0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm) na subparcela, enquanto as variáveis de dossel e forragem foram analisadas sob medidas repetidas no tempo em cinco estações do ano (verão 1, outono 1, primavera 1, verão 2 e outono 2). Os dados foram analisados utilizando procedimentos GLM e MIXED do pacote estatístico SAS®, para as variáveis do solo e da forragem, respectivamente. Maiores teores de cálcio, magnésio, potássio, soma e saturação de bases e carbono orgânico foram obtidos na profundidade de 0 a 5 cm. A menor densidade do solo, diâmetro médio ponderado e geométrico dos agregados ocorreram na maior profundidade, e a maior resistência do solo à penetração foi obtida na profundidade de 15 a 20 cm. O maior teor volumétrico de água no solo ocorreu durante o verão 1 e 2. Houve efeito da interação tratamento e estação do ano para as variáveis de estrutura do dossel, massa, acúmulo e valor nutritivo da forragem. Maior altura, menor intervalo entre cortes, relação folha:colmo, maior FDN, PB e DIVMS foram obtidos para o QCAL+NPK. Maiores massas de forragem total acumuladas foram observadas para QCAL+NPK e CAL+NPK nas estações outono 1, verão 2 e outono 2 (superioridade média de 1.376, 1.352 e 913 kg ha⁻¹, respectivamente), além de superioridade média de 2.368 e 3.984 kg ha⁻¹ de MS para o QCAL+NPK, em relação aos demais tratamentos, nas estações verão 1 e primavera 1, respectivamente. A utilização de calcário, associado às adubações fosfatada, nitrogenada e potássica não promoveu alterações das variáveis físicas do solo, porém melhorou todas as propriedades químicas, principalmente na profundidade de 0 a 5 cm. A associação entre aplicação de calcário e adubação de manutenção com NPK afeta positivamente a recuperação de pastagem degradada de *U. decumbens* cv. Basilisk, promovendo aumento da produção e acúmulo de forragem. A renovação da pastagem com *M. maximus* cv. BRS Quênia promove maior produção e acúmulo de forragem, além de melhor composição morfológica e valor nutritivo da forragem, quando comparada às demais estratégias de recuperação de pastagens degradadas de *U. decumbens* cv. Basilisk na Zona da Mata de Minas Gerais.

Palavras-chaves: Calagem e adubação de pastagens. Composição morfológica. Densidade do solo. Massa e acúmulo de forragem. Resistência do solo à penetração.

ABSTRACT

DIAVÃO, Jaciara. **Strategies for recovery and renovation of degraded *Urochloa decumbens* pasture.** 2022. 9p. Thesis (Doctorate in Animal Science). Institute of Animal Science, Department of Animal Nutrition and Pastures, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

The present study aimed to evaluate different strategies for recovery and renovation of degraded pasture in a hill area in the Zona da Mata of Minas Gerais. Soil chemical and physical variables, mass, botanical and morphological composition, accumulation, and nutritive value of forage were evaluated. Five treatments arranged in a randomized block design with four replications were tested. The treatments were: control (CTRL) – degraded *Urochloa (Brachiaria) decumbens* cv. Basilisk pasture without lime and fertilization; CAL – maintenance liming; CAL+P – maintenance liming and phosphate fertilization; CAL+NPK – liming and maintenance nitrogen, phosphate and potassium fertilization and QCAL+NPK – liming with nitrogen, phosphate and potassium fertilization of formation, associated with the renovation with implantation of *Megathyrsus maximus* cv. BRS Quênia. For chemical and physical attributes of the soil, the arrangement of subdivided plots with treatments in the plot and soil depths (0 to 5, 5 to 10, 10 to 20, and 20 to 40 cm) in the subplot were considered, while the sward and forage variables were analyzed under repeated measures overtime in five seasons of the year (summer 1, autumn 1, spring 1, summer 2 and autumn 2). Data were analyzed using the GLM and MIXED procedures of the SAS® statistical package, for soil and forage and canopy variables, respectively. Higher levels of calcium, magnesium, potassium, sum and saturation of bases and organic carbon were obtained at a depth of 0 to 5 cm. The lowest soil density, weighted mean diameter and geometric mean of aggregates occurred at the greatest depth, and the greatest soil penetration resistance was obtained at a depth of 15 to 20 cm. The highest volumetric soil water content occurred during summers 1 and 2. There was an interaction effect between treatment and season of the year for the variables of canopy structure, mass, accumulation, and forage nutritive value. Higher height, a shorter interval between cuts, leaf: stem ratio, NDF, CP, and IVDMD was obtained for QCAL+NPK. Higher total accumulated forage mass was observed for QCAL+NPK and CAL+NPK in the seasons autumn 1, summer 2, and autumn 2 (average superiority of 1376, 1352 kg ha⁻¹, and 913 kg ha⁻¹ respectively), in addition to an average superiority of 2368 and 3984 kg ha⁻¹ for QCAL+NPK in relation to the other treatments, in the seasons summer 1 and spring 1, respectively. The use of limestone, associated with phosphate, nitrogen, and potassium fertilization does not promote changes in the physical variables of the soil, however, improved all chemical properties, mainly in depth 0 to 5 cm. The association between lime application and maintenance fertilization with NPK positively affects the recovery of degraded pasture of *U. decumbens* cv. Basilisk promoting increased production and forage accumulation. Pasture renovation with *M. maximus* cv. BRS Quênia, promotes greater production and forage accumulation, in addition to better forage morphological composition and nutritional value, when compared to the other recovery strategies of degraded pastures of *U. decumbens* cv. Basilisk in the Zona da Mata of Minas Gerais.

Keywords: Forage mass and accumulation. Liming and fertilization of pastures. Morphological composition. Soil density. Soil resistance to penetration.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 Cenário das Pastagens no Brasil	2
2.2 Caracterização de Pastagens Degradadas.....	3
2.3 Recuperação e Renovação de Pastagens Degradadas	4
2.4 <i>Urochloa decumbens</i> cv. Basilisk e <i>Megathyrsus maximus</i> cv.BRS Quênia.....	5
2.5 Fertilidade do Solo em Áreas de Pastagens.....	6
2.5.1 Calagem em áreas de pastagens	7
2.5.2 Adubação fosfatada em pastagens	8
2.5.3 Adubação potássica em pastagens.....	9
2.5.4 Adubação nitrogenada em pastagens	10
2.5.5 Carbono orgânico do solo	11
2.6 Atributos Físicos do Solo em Áreas de Pastagens.....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Localização, Descrição da Área Experimental e Dados Climáticos.....	15
3.2 Tratamentos, Delineamento Experimental e Preparo da Área.....	15
3.3 Caracterização do Solo da Área Experimental.....	18
3.3.1 Caracterização química e carbono orgânico do perfil de solo.....	19
3.3.2 Análise granulométrica dos horizontes.....	20
3.4 Caracterização Física do Solo da Área Experimental.....	21
3.5 Avaliação da Influência dos Tratamentos nos Atributos Químicos e Físicos do Solo	23
3.6 Teor Volumétrico de Água no Solo (TVAS).....	23
3.7 Critérios de Manejo, Intervalos de Corte, Índice SPAD e Interceptação Luminosa .	24
3.8 Massa e Acúmulo de Forragem, suas Composições Botânica e Morfológica	28
3.9 Valor Nutritivo da Forragem	29
3.10 Análises Estatísticas.....	29
4 RESULTADOS	31
4.1 Atributos Químicos do Solo.....	31
4.2 Atributos Físicos do Solo.....	35
4.2.1 Densidade do solo, de partículas e porosidade total do solo	35
4.2.2 Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade dos agregados (IEA).....	36
4.2.3 Macro e microporosidade e porosidade total do solo	36
4.2.4 Resistência do solo a penetração	36
4.2.5 Teor volumétrico de água no solo	38
4.3 Variáveis da Forragem.....	40

4.3.1 Massa de forragem, composição botânica e morfológica, relação folha: colmo e acúmulo de forragem	40
4.3.2 Valor Nutritivo da Forragem	43
5 DISCUSSÃO	46
5.1 Atributos Químicos do Solo	46
5.2 Atributos Físicos do Solo.....	50
5.2.1 Densidade do solo, de partículas e porosidade total do solo	50
5.2.2 Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade dos agregados (IEA)	51
5.2.3 Macro e microporosidade e porosidade total do solo	52
5.2.4 Resistência do solo a penetração	53
5.2.5 Teor volumétrico de água no solo	53
5.3 Variáveis da Forragem.....	54
5.3.1 Massa de forragem, composição botânica e morfológica, relação folha: colmo e acúmulo de forragem	54
5.3.2 Valor nutritivo da forragem	58
6 CONCLUSÕES.....	61
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	62
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
ANEXO I.....	80
ANEXO II.....	81

1 INTRODUÇÃO

Entre os fatores que limitam a produção animal em pastagem pode-se destacar a ausência de manejo adequado das pastagens e a reposição de nutrientes do solo que são extraídos para produção vegetal e exportados como produto animal, como os que mais contribuem com a degradação da pastagem e do solo.

A degradação das pastagens é um dos maiores problemas da pecuária realizada a pasto, que reflete diretamente na sustentabilidade dos sistemas produtivos, pois além de promover baixo desempenho animal por menor oferta de forragem com baixa qualidade para consumo, também resulta em maior emissão de gases de efeito estufa (GEE) e baixa fixação de carbono em relação às pastagens manejadas adequadamente. As pastagens, quando bem manejadas, podem servir como recuperadoras e até mesmo acumuladoras de carbono no solo, o que é ecologicamente vantajoso sob a ótica da redução do CO₂ atmosférico e dos impactos da atividade agrícola no ambiente, visto que os solos sob as pastagens podem acumular carbono em níveis semelhantes ou superiores à vegetação nativa/naturalizada (SILVA et al., 2017). Portanto, a recuperação de pastagens degradadas além de promover benefícios aos seus ecossistemas, aumentam a produção de forragem, contribuindo de forma sustentável para maior produção animal e retorno econômico.

Dentre as principais causas de degradação das pastagens, destacam-se a falta de correção da acidez e fertilidade do solo na formação (plantio) e/ou na manutenção da fertilidade do solo, o estabelecimento inadequado das espécies forrageiras, além de sua má utilização, com taxas de lotação animal acima da capacidade de suporte. Este cenário de degradação deve servir de estímulo ao desenvolvimento de estratégias sustentáveis de recuperação de áreas degradadas, que viabilizem a produção de forragem de qualidade concomitante à manutenção das pastagens ao longo do tempo. Visto que além de servir como fonte de alimentação de baixo custo para os animais herbívoros, pastagens bem manejadas fornecem serviços ecossistêmicos essenciais, tanto pela redução da erosão do solo e melhoria da infiltração de água da chuva, como pelo aumento do sequestro de carbono.

Diante disso, a recuperação e/ou, renovação da pastagem degradada, configura-se como um dos principais desafios para produção animal à pasto, sendo primordial o desenvolvimento de alternativas para reversão desta realidade e obtenção de produção de forragem de qualidade, de forma economicamente sustentável e ambientalmente correta.

Assim, a adoção de técnicas de recuperação e/ou renovação de pastagens deve levar em consideração inicialmente o correto diagnóstico das causas e do estágio de degradação. Portanto, é necessário observar o vigor e a qualidade da forrageira de interesse durante a época de maior crescimento, a mudança na composição botânica, o aparecimento de plantas daninhas e de pragas como formigas e cupinzeiros, diminuição da cobertura de solo, e a degradação do solo com alterações da estabilidade ou grau de erosão.

Nesse sentido, a hipótese do presente estudo foi que as condições do solo (químicas e físicas, o acúmulo e o valor nutritivo da forragem em pastagens degradadas de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk (sin. *Brachiaria decumbens*) na Zona na Mata de Minas Gerais são melhoradas por meio da recuperação e pela renovação da pastagem. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o impacto de estratégias de recuperação por meio de calagem e adubação de pastagens degradadas de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk e de sua renovação pela substituição da forrageira original por *Megathyrsus maximus* cv. BRS Quênia (sin. *Panicum maximum* cv. BRS Quênia) sobre as características químicas e físicas do solo e as características do dossel forrageiro, como massa e acúmulo de forragem, composição botânica e morfológica, e valor nutritivo da forragem.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Cenário das Pastagens no Brasil

A área total de pastagens (naturais/naturalizadas e cultivadas) no Brasil é de aproximadamente 159,5 milhões de hectares, dos quais 47,3 milhões são ocupadas por pastagens naturais, 100 milhões por pastagens cultivadas em boas condições de utilização, e 11,8 milhões de hectares estão em más condições de utilização (IBGE, 2018). Contudo, infelizmente, não há um consenso sobre a área total de pastagens no Brasil, pois segundo a Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne - ABIEC (2021), existem aproximadamente 165,2 milhões de hectares de pastagens no Brasil, sendo que 138,4 milhões são consideradas como áreas de pastagens em bom estado de utilização, 9,9 milhões apresentam sinais de degradação leve, e 2,7 milhões em degradação avançada.

Ferraz (2008) previu um cenário de redução das áreas de pastagens no Brasil para os próximos anos, devido ao aumento nas demandas por lavouras para produção de grãos e de biocombustíveis, entretanto, com manutenção ou ligeiro aumento do rebanho bovino. Isso foi confirmado com base nos dados do último censo agropecuário, pela redução das áreas de pastagens de 2010 a 2020, passando de 184,6 para 165 milhões de hectares, enquanto a taxa de lotação aumentou de 0,73 UA ha⁻¹ para 0,88 UA ha⁻¹ neste mesmo período (ABIEC, 2021; IBGE, 2018). Esse aumento na taxa de lotação concomitante à redução das áreas de pastagens nas últimas décadas, evidenciam uma melhora significativa na eficiência de utilização das pastagens pelo uso crescente de tecnologias que permitiram aumento da produção animal, elevando a produtividade, em decorrência da combinação de maior uso de insumos na manutenção das pastagens, recuperação das pastagens degradadas, melhoria de técnicas de manejo de pastagens e dos animais e adoção da suplementação alimentar dos rebanhos (BARCELLOS et al., 2008; EUCLIDES et al., 2010).

O estado de Minas Gerais possui mais de 19,3 milhões de hectares de pastagens, e destas, mais de dois milhões de hectares de pastagens cultivadas estão em más condições de uso (IBGE, 2018). Essas pastagens apresentam estágios de degradação por diferentes causas, destacando-se a falta de correção do solo, de adubação de plantio ou até mesmo o do mau uso da terra, como estabelecimento inadequado de forrageiras, manejos inadequados da pastagem, do animal e do solo, além da falta de reposição de nutrientes (DIAS-FILHO, 2011).

O estabelecimento incorreto e/ou o manejo inadequado da pastagem já estabelecida, têm sido apontados como os principais fatores de influência antrópica direta, que contribuem para tornar a pastagem mais suscetível à degradação. A baixa fertilidade dos solos associada ao uso limitado de corretivos e fertilizantes nas fases de estabelecimento e de manutenção das pastagens são os principais fatores que explicam a baixa produção de forragem e a degradação das pastagens (PERON & EVANGELISTA, 2004).

A Zona da Mata de Minas Gerais localiza-se em uma região com relevo predominantemente forte ondulado a escarpado (de 45 até 75% de declividade), desfavorável à mecanização, propenso às perdas de nutrientes por escoamento superficial, com solos de baixa fertilidade e exigentes em adubação para produção agrícola (PORTUGAL et al., 2010), constituindo-se em áreas com limitações naturais para a produção animal. Dependendo das causas e do estágio de degradação, a pastagem degradada ou em degradação, necessita de diferentes intensidades e estratégias de intervenção para recuperar sua produtividade (DIAS-FILHO, 2007).

Portanto, a adoção de estratégias de recuperação e/ou de renovação de pastagens, configuram-se como um dos principais desafios para obtenção de produtos de origem animal de forma economicamente sustentável e ambientalmente correta.

2.2 Caracterização de Pastagens Degradadas

Os fatores que mais contribuem para a degradação de pastagens são o manejo inadequado, incluindo o superpastejo, a invasão de plantas daninhas, a ocorrência de pragas e doenças, a falta de adaptação da espécie ou cultivar semeada ou plantada, a incompatibilidade entre as espécies ou cultivares consorciadas ou associadas e a perda da fertilidade do solo (SPAIN & GUALDRON, 1988). Além disso, a ausência de reposição periódica da fertilidade do solo via adubação, preparo inadequado da área, uso de sementes de baixo valor cultural, falhas no estabelecimento das forrageiras, excesso ou a falta de chuvas e falta de manejo para controle de plantas daninhas, estão entre as causas mais comuns da degradação das pastagens (DIAS-FILHO, 2015). Já para Zimmer et al. (2012) a ocorrências de invasoras, pragas, doenças, compactação do solo e erosão, entre outros, são na verdade, consequências do não atendimento das premissas acima mencionadas, tais como a ausência de práticas conservacionista do solo e da pastagem.

Estabelecer critérios para identificação do estágio de degradação das pastagens não é tarefa fácil, tendo em vista a diversidade das espécies com relação às suas características morfofisiológicas e dos ecossistemas em que são cultivadas (NASCIMENTO JÚNIOR et al., 1994; DIAS-FILHO, 2007), pois os biomas têm características bastante distintas.

A pastagem se encontra em estado de degradação quando esta sofreu diminuição considerável na produtividade potencial para as condições edafoclimáticas e bióticas em que está submetida (SPAIN & GUALDRON, 1988). Já Soares Filho et al. (2008) definiram que pastagem degradada é aquela que está produzindo abaixo de 50% de seu potencial produtivo em relação às condições edafoclimáticas do local onde foi implantada e da espécie ou cultivar da forrageira utilizada.

Para Dias-Filho (2011) a degradação de pastagens pode ser caracterizada em dois tipos, agrícola ou biológica. A degradação agrícola da pastagem é caracterizada pela mudança em sua composição botânica, com o aumento da população de plantas daninhas e diminuição da proporção da forrageira (capim ou leguminosa forrageira) na área. Nesse caso, a capacidade da pastagem em produzir economicamente estaria diminuída ou inviabilizada por causa da pressão exercida pelas plantas daninhas no capim, reduzindo, portanto, a capacidade de suporte. Se enquadram nessa condição as pastagens que tiveram problemas de estabelecimento que perderam o vigor pelo ataque de insetos-praga. Segundo esse autor, a degradação biológica é caracterizada pela intensa diminuição da biomassa vegetal na área, provocada pela degradação química do solo (com a perda de nutrientes e acidificação), física (pela erosão e compactação) e biológica (pela perda de matéria orgânica e redução da fauna do solo), ou climática (pela estiagem excessiva). Nessa condição, a forrageira implantada seria gradualmente substituída por gramíneas (folhas estreitas) e/ou dicotiledôneas (folhas largas) nativas pouco exigentes em fertilidade do solo, de menor valor nutritivo e com baixa capacidade de produção. Se enquadram nessa condição o pasto frequentemente submetido a queimadas e pastagens manejadas sob intenso superpastejo.

Assim, qualquer critério proposto para avaliar o estágio de degradação de uma pastagem tem que levar em consideração as características: diminuição do vigor da forrageira e qualidade da forragem de interesse durante a época de maior crescimento, mudança na composição botânica com aparecimento de plantas daninhas de folhas largas, aparecimento de pragas como formigueiros e cupinzeiros, diminuição da cobertura de solo e degradação do solo com alterações na estabilidade do solo ou grau de erosão (NASCIMENTO JÚNIOR et al., 1994; SPAIN & GUALDRÓN, 1988; STODDART et al., 1975).

2.3 Recuperação e Renovação de Pastagens Degradadas

A adoção de técnicas de recuperação e/ou renovação de pastagens degradadas deve ser feita após consideração do estágio de degradação do solo quanto à fertilidade, vigor e densidade de plantas forrageiras, disponibilidade de recursos e condições climáticas da região (TOWNSEND et al., 2012). Existem diversas técnicas de recuperação ou renovação de áreas de pastagens, desde a correção do solo com a utilização de calcário e gesso agrícola e fertilização de manutenção, o pousio da pastagem, até o estabelecimento de uma nova espécie forrageira, com fertilização para formação de pastagens (LOPES et al., 2017). Além disso, podem ser utilizados sistemas consorciados com leguminosas, até sistemas que integram a pecuária com a produção de grãos (ILP- integração lavoura-pecuária) (SILVA et al., 2018a, b) e árvores (ILPF- integração lavoura- pecuária- floresta) (OLIVEIRA et al., 2017; SILVA et al., 2021).

A estratégia para recuperação ou renovação que será utilizada dependerá inicialmente do diagnóstico das condições do solo. Sabe-se que a avaliação da fertilidade química dos solos é imprescindível tanto para a definição das quantidades e tipos de corretivos e fertilizantes, como também para o manejo geral que devem ser aplicados ao solo visando à manutenção ou à recuperação de sua produtividade (RONQUIM, 2010).

Avaliando manejos de recuperação de pastagens de *Urochloa brizantha* cv. Marandu no estado do Espírito Santo sob aração e gradagem, queima da biomassa, fertilização, uso de escarificador pesado e ILP, Rocha Júnior et al. (2016b) concluíram que a melhor opção ambiental e econômica entre os manejos avaliados foi obtida com a fertilização do pasto (calagem com 1,0 t ha⁻¹, 200 kg ha⁻¹ de K₂O, 50 Kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 150 kg ha⁻¹ de N), e que esta foi a melhor opção ambiental e econômica entre os manejos avaliados.

Vale ressaltar que na região da Zona da Mata de Minas Gerais, predominantemente declivosa, podem ser adotadas estratégias de recuperação de pastagens degradadas sob um manejo mais leniente dos pastos, o qual é indicado para o manejo da *Urochloa decumbens* cv. Basilisk nas áreas mais declivosas desta região (LOPES et al., 2017; PACIULLO et al., 2016), visando reestabelecer a forrageira na área, recuperando seu vigor e produtividade, melhorando também a cobertura de solo, evitando perda de nutrientes via escoamento superficial pela ação das chuvas.

Já a renovação total da cobertura vegetal depende de um conjunto de técnicas para o adequado estabelecimento de uma nova forrageira a uma pastagem cultivada em estado de degradação (COSTA, 2004). Para a formação da pastagem, a atenção deve iniciar na operação de semeadura que é necessária para um adequado “stand” de plantas, visto que o estabelecimento incorreto da pastagem pode acarretar degradação precoce, pela má formação inicial do pasto (DIAS-FILHO, 2005).

A intensificação dos sistemas de produção pode ser obtida por meio de práticas racionais de manejo, dentre as quais a escolha de cultivares mais produtivas, a adoção de critérios morfofisiológicos para a utilização de adubações de manutenção, são aquelas mais indicadas para melhorar/aumentar a taxa de lotação das pastagens (GURGEL, 2019; JANK et al., 2017) respeitando a capacidade de suporte da pastagem. Nesse sentido, a renovação das pastagens possibilita ganhos em produtividade para a atividade pecuária devido ao aumento do desempenho animal (ganho de peso e/ou produção de leite), promovido pela maior produção forrageira (MOREIRA et al., 2005a) de melhor qualidade (OLIVEIRA et al., 2017) e pela melhoria das condições gerais do solo, o que resulta em incrementos nas taxas de lotação, desde que feito o manejo correto das pastagens (SILVA et al., 2018b). Além disso, a qualidade da forragem é um dos principais fatores que afetam as emissões de gases do efeito estufa (GEE) em sistemas de produção de carne e leite com base no uso de pastagens (BILOTTO et al., 2019), tornando-se imprescindível a sua melhor utilização.

2.4 *Urochloa decumbens* cv. Basilisk e *Megathyrsus maximus* cv. BRS Quênia

Conforme relatado por Paciullo & Gomide (2016), a partir da década de 1980 com a introdução de germoplasmas dos gêneros *Urochloa* (*Brachiaria*) e *Megathyrsus* (*Panicum*) foi possível a seleção de materiais mais promissores quanto à produtividade, valor nutritivo e adaptabilidade às condições edafoclimáticas, favorecendo o predomínio destes gêneros em grandes áreas nos sistemas pecuários brasileiros (FREITAS, 2019).

Os sistemas agrícolas típicos no Brasil utilizam em geral os capins do gênero *Urochloa* como principais fontes de alimentação para bovinos a pasto, e os animais são criados em sistema extensivo de produção, com variação sazonal da produção de forragem e do valor nutritivo dessas gramíneas (D'AUREA et al., 2021). O gênero *Urochloa* (*Brachiaria*) tem sido amplamente cultivado em regiões tropicais e, no Brasil, mais de 100 milhões de hectares são cultivados com forrageiras deste gênero (EUCLIDES et al., 2010). As razões para o seu sucesso são a adaptação e persistência dessas gramíneas em solos com baixo pH associado à toxicidade do alumínio, deficiência de fósforo e baixo teor de matéria orgânica do solo (RUDEL et al., 2015), além disso possui grande flexibilidade de uso e manejo, sendo tolerantes a uma série de limitações e/ou condições restritivas de utilização para um grande número de espécies forrageiras (SILVA & NASCIMENTO JÚNIOR, 2007).

Com base em estudos já realizados constata-se que o potencial brasileiro para a pecuária pode ser otimizado, sem expandir as áreas agrícolas, utilizando tecnologias como o manejo de pastagens, calagem e fertilização, irrigação e suplementação, intensificando os sistemas de produção a pasto a partir dos capins do gênero *Urochloa* (CARDOSO et al., 2020; RUGGIERI et al., 2020).

O potencial produtivo das espécies do gênero *Urochloa* pode ser melhorado com a utilização de fertilizantes, principalmente o nitrogenado (OLIVEIRA et al., 2010). Um potencial de taxa de lotação de 6 UA ha⁻¹ em pastagens de *Urochloa* pode ser alcançado usando-se somente fertilização ou em combinação com suplementação animal (RUGGIERI et al., 2020). Somado a isso, as forrageiras do gênero *Urochloa* respondem satisfatoriamente às doses de N aplicadas, sendo produtivas e adaptadas às condições edafoclimáticas da região cultivada, reduzindo a presença de plantas daninhas nas pastagens (MOREIRA et al., 2005a).

Moura et al. (2017) avaliaram estratégias de pastejo de capim-Marandu (*U. brizantha* cv. Marandu) na Zona da Mata de Minas Gerais (de janeiro a abril de 2014) obtiveram 6.303 kg ha⁻¹ de massa seca no tratamento com 95% de interceptação luminosa. Bretas et al. (2020) avaliaram *U. decumbens* na mesma região e obtiveram produção de 5.538 kg ha⁻¹ de massa seca na estação chuvosa (fevereiro a abril) e 3.406 kg ha⁻¹ de massa seca na estação seca (julho à outubro).

As plantas do gênero *Megathyrsus* são caracterizadas pelo seu grande potencial de produção de forragem e bom valor nutritivo (PACIULLO & GOMIDE, 2016), sendo menos flexíveis às condições de manejo do que as forrageiras de gênero *Urochloa*, por apresentarem limitações e/ou dificuldades para serem manejadas sob lotação contínua, prevalecendo, de uma forma geral, seu uso sob lotação rotacionada (SILVA & NASCIMENTO JÚNIOR, 2007).

Jank et al. (2017) reportaram que a BRS Quênia é uma planta cespitosa de porte ereto, com lâminas foliares verde escuras e longas, e as principais diferenças morfológicas com as cultivares mais parecidas (Tanzânia e Mombaça) são as folhas e colmos mais finos, colmos com pouca cerosidade, maior perfilhamento e florescimento precoce, sendo semelhante à cultivar Tanzânia quanto à altura e folhas sem pilosidade, enquanto a cultivar Mombaça possui porte mais alto e apresenta pouca quantidade de pelos nas folhas. Além disso, a BRS Quênia apresenta maior valor nutritivo, devido à baixa proporção de colmos, o que pode potencializar sua digestibilidade (JANK et al., 2017). É um híbrido de porte médio com touceiras que

apresentam maior densidade de perfilhos e folhas, e menor proporção de material morto (CAVALLI, 2016; VALOTE et al., 2021).

Em relação aos critérios para manejo da BRS Quênia, Jank et al. (2017) indicaram altura média de 70 cm para a obtenção do índice de área foliar crítico (95% de interceptação luminosa) e, sob lotação rotacionada, os pastos da BRS Quênia devem ser manejados com altura de entrada de 70 cm e altura de saída de 35 cm.

Jank et al. (2001) avaliaram a BRS Quênia e verificaram produção anual de 19 t ha⁻¹ de massa seca. Estes autores conduziram ensaios de valor cultural (VC) em cinco diferentes regiões e constataram que a cv. BRS Quênia produziu 13,2 t ha⁻¹ de massa seca de folhas no período chuvoso com 86% de folhas em relação aos colmos, e apresentou uma produção de 1,41 t ha⁻¹ de massa seca de folhas no período seco com 95% de folhas, e na média anual, as produções de massa seca foliar foram superiores às cvs. Tanzânia e Mombaça.

Valote et al. (2021) obtiveram médias de acúmulos de forragem para BRS Quênia maiores durante os ciclos de outono e inverno (3.726 kg ha⁻¹ de MS) do que nos ciclos de verão (3.034 kg ha⁻¹ de MS) no bioma Mata Atlântica, o que revela potencial de produção dessa forrageira durante o outono e inverno quando comparada àquelas de outras cultivares de *M. maximus* reportadas na literatura (JANK, 1995).

O valor nutritivo das plantas forrageiras tem sido avaliado por meio da composição química da forragem e de sua digestibilidade, pela determinação das porcentagens de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina e da digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) (CANO et al., 2004).

As forrageiras de clima tropical alteram sua composição química e valor nutritivo da forragem (biomassa) conforme a época do ano, avanço do estado fisiológico, maturidade da planta e o manejo em que são utilizadas (MOORE, 1994; NELSON & MOSER, 1994). Os diferentes manejos impostos e as épocas do ano fazem com que ocorram mudanças nas características morfológicas e bromatológica da planta, ocasionando redução do valor nutritivo, principalmente nos períodos em que ocorrem baixa precipitação.

Segundo Minson (1990) e Van Soest (1994), as folhas apresentam maior teor de PB e menores teores de FDN, de FDA e de lignina que os colmos das plantas forrageiras. Zimmer (1999), trabalhando com níveis de nitrogênio (N) e resíduos de massa de forragem pós pastejo, observou menores teores de FDN e de FDA, maior concentração de PB e maior digestibilidade nas folhas do que nos colmos, sobretudo nos estratos intermediários e superiores do dossel forrageiro.

2.5 Fertilidade do Solo em Áreas de Pastagens

No Brasil, mais de quatro milhões de propriedades rurais não fazem uso de calcário ou outro corretivo no solo, e mais de dois milhões de propriedades não fazem qualquer tipo de adubação no solo (mineral ou orgânica) (IBGE, 2018). Embora as gramíneas tropicais mais utilizadas em sistemas extensivos sejam relativamente bem adaptadas à baixa fertilidade do solo, a deficiência de nutrientes, especialmente de N, juntamente com o manejo inadequado da pastagem, pode levar à baixa produção de forragem e, conseqüentemente, ao menor desempenho animal (BERÇA et al., 2019).

Avanços importantes foram alcançados nos métodos de fertilização e nas doses necessárias de fertilizantes para o estabelecimento das pastagens (EUCLIDES et al., 2010). Segundo Souza & Lobato (2004), mais de 90% dos solos são distróficos na região Centro-Oeste, o que significa que a saturação por bases (V) do solo é inferior a 50% e elevada acidez. A maioria dos solos é ácido e a saturação por alumínio (m) também é alta, em muitos casos acima de 50%. A capacidade de troca catiônica do solo (T) do solo varia de 4,0 a 12,0 cmolc dm⁻³ na maioria dos Latossolos e Argissolos.

Para Tan et al. (2005), a redução da fertilidade do solo pode ser consequência da extração de nutrientes no processo produtivo, por exportação como produto animal e vegetal, erosão, lixiviação, volatilização, fixação em argila e matéria orgânica. Segundo estes autores, o somatório dessas perdas pode chegar a mais de 40% do total de nutrientes utilizados pelas plantas forrageiras nas pastagens ao longo de um ano de exploração, o que provoca o empobrecimento contínuo do solo e a redução no crescimento das forrageiras nas pastagens a uma taxa de aproximadamente 6% ao ano.

Por intermédio do escoamento superficial em áreas de morros e encostas, como ocorre nas áreas de morro da região da Zona da Mata de Minas Gerais, ocorre perda do carbono orgânico e nutrientes como o fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), junto com o solo e a água (ROCHA JUNIOR et al., 2016a, b). Com base nos resultados de estudos que avaliaram as perdas de nutrientes no solo constata-se que esse processo resulta no declínio da fertilidade do solo e na eutrofização dos estuários, em área de depressão e nos seguimentos mais baixos da pedopaisagem (ROCHA JUNIOR, 2012; ROCHA JUNIOR et al., 2016b).

Somado a isso, considera-se também que a baixa fertilidade do solo leva à produção de plantas com baixo teor de nutrientes e, conseqüentemente, gera empobrecimento em nutrientes da serapilheira, o que reduz a taxa de mineralização e implica na imobilização de grande parte dos nutrientes disponíveis pelos microrganismos do solo (NASCIMENTO JUNIOR et al., 1994).

As concentrações de minerais e sua disponibilidade nas plantas forrageiras variam em decorrência de fatores como adubação, idade da planta, estação do ano, disponibilidade do nutriente no solo, diferenças entre espécies, variedades e cultivares (KHAN et al., 2007). Além disso, a fertilização com N e P pode aumentar a produtividade e o teor de proteína das gramíneas tropicais (BERÇA et al., 2019; VINHA et al., 2021).

Para aumentar a sustentabilidade de pastagens cultivadas em climas tropicais, o manejo do solo tem que ser focado em práticas que maximizem a ciclagem de nutrientes no sistema via adubações periódicas e o aumento da matéria orgânica no solo (DIAS- FILHO, 2007). Assim, o uso de dose moderada de fertilizante (80 kg ha⁻¹ de N e K₂O e 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅) em pastagem de *U. decumbens* proporcionou aumento da massa seca verde (t ha⁻¹) e da densidade volumétrica do pasto, embora os fertilizantes não tenham influenciado o valor nutritivo da forragem, quando comparados às áreas sem fertilização (LOPES et al., 2017).

2.5.1 Calagem em áreas de pastagens

A intensa utilização do solo por culturas sem adequado manejo da fertilidade pode provocar aumento das concentrações de H⁺ e Al³⁺ e, como consequência, reduzir o pH (AGOUMÉ & BIRANG, 2009). A utilização da calagem pode proporcionar resultados positivos em solos ácidos, visto que a acidez do solo é uma das causas de degradação, principalmente em regiões tropicais e subtropicais (BEHERA & SHUKLA, 2015).

A calagem e adubação podem ser utilizadas como técnicas de recuperação de pastagens em áreas que não estejam severamente degradadas. Podem consistir simplesmente em adubação corretiva (para corrigir deficiências de Ca e Mg, utilizando-se calcário, associado à adubação com N, P, K e micronutrientes, em quantidades determinadas pela análise química do solo (SOARES FILHO et al., 1992).

Diversos estudos têm sido conduzidos com o intuito de recuperar pastagens degradadas com a aplicação de calcário (BAMBOLIM et al., 2015; BEDASO et al., 2021; SOUZA et al., 2016;). Bedaso et al. (2021) trabalhando com calagem em pastagem degradada de *Cenchrus ciliaris* L. observaram aumento do pH, da eletrocondutividade e da concentração de K em relação ao controle, além do aumento significativo da produção de massa seca (+ 1,64 t ha⁻¹). Esse aumento da produção de massa seca pode ser atribuído à maior concentração de N na

pastagem corrigida com calcário (CARDOSO et al., 2016). A calagem adiciona Ca^{2+} e Mg^{2+} e, como consequência, neutraliza a acidez do solo (BEUTLER et al., 2015).

Costa et al. (2016) em seu experimento com calagem em um Latossolo sob sistema de plantio direto, afirmaram que a calagem é primordial para o cultivo e que a mesma melhora a disponibilidade de Ca, Mg, P, eleva o pH para condições ideais, diminuiu a acidez do solo e aumenta a saturação por base, beneficiando o desenvolvimento da cultura e permitindo uma melhoria da produção.

A calagem tem efeito positivo na estrutura do solo, com influência na sua agregação, uma vez que é comumente adicionada ao solo para aumentar o pH, resultando em aumento da atividade microbiana e da produtividade vegetal, contribuindo para maior matéria orgânica e incremento na agregação do solo (BRONICK & LAL, 2005). Somado a isso, a calagem também tem efeitos benéficos nas condições físicas do solo, pois solos degradados com baixo pH são normalmente floculados devido à compressão promovida pelo H^+ e Al^{3+} na argila e, quando é realizada a calagem, ocorre diminuição dessas cargas positivas e aumento da relação entre cargas (negativas e positivas), resultando numa menor repulsa das cargas, proporcionando um aumento da dispersão da argila e diminuição da taxa de infiltração de água (HAYNES & NAIDU, 1998). Nesse sentido, a aplicação de calcário promove aumento do índice de estabilidade dos agregados, reduz a densidade do solo em camadas mais profundas (> 20 cm), além de influenciar positivamente a porosidade total e macroporosidade (CARMEIS FILHO et al., 2018).

2.5.2 Adubação fosfatada em pastagens

O P desempenha papel importante no crescimento do sistema radicular, bem como no perfilhamento das gramíneas, o que é fundamental para a maior produtividade e persistência das forrageiras (SANTOS et al., 2006). Para Holford & Mattingly (1979), o P é o segundo elemento essencial mais limitante à produção agrícola, depois do N. A adubação fosfatada torna-se particularmente importante nos solos ácidos dos trópicos, uma vez que estes apresentam baixa disponibilidade natural e alta capacidade de adsorção e precipitação desse nutriente (SANTOS et al., 2006), e suas ligações químicas nas partículas do solo tornam a maioria do P indisponível para as plantas. No solo, ocorre na forma de íons orgânicos ou como parte de compostos orgânicos (EPSTEIN, 1975). Os íons solúveis de fosfato inorgânico são naturalmente perdidos por erosão, ou absorvidos pelas raízes e incorporados na biomassa das plantas, ficando retidos nas plantas forrageiras até serem colhidos no corte ou pastejo (DIAS-FILHO, 2011).

No Cerrado, a deficiência de P é considerada como a principal causa da baixa produtividade das pastagens, sendo considerado o nutriente mais importante para a formação de pastagens (VOLPE et al., 2008). A deficiência natural de P nos Latossolos, aliada à alta fixação desse elemento, torna a adubação fosfatada uma prática necessária para o estabelecimento, a manutenção e a sustentabilidade das pastagens (LIMA et al., 2009). Outra característica importante dos solos sob pastagens no Brasil, verificada por Souza & Lobato (2004), é que o P é o nutriente mais limitante relacionado ao estabelecimento e manutenção ao longo do tempo.

Sendo o P um dos nutrientes mais limitantes nas regiões tropicais, há constante preocupação da pesquisa em avaliar a tolerância das espécies a baixos níveis de P, e quantificar o potencial de resposta a doses e fontes, das espécies forrageiras (NASCIMENTO JUNIOR et al., 1994). Segundo Costa et al. (2008) a aplicação de 350 mg dm^{-3} de adubação fosfatada em pastagens com *U. brizantha* cv Marandu em Latossolo Vermelho Distroférrico aumentou a concentração de P no solo.

Eberhardt et al. (2008) verificaram correlação negativa entre a adsorção de P e o teor de carbono orgânico, este efeito parece estar relacionado com a ação bloqueadora da matéria orgânica sobre os sítios de adsorção do P. Segundo estes mesmos autores, considerando que tal efeito possa ser temporário, fica evidente que a manutenção de altos teores de matéria orgânica (MO) é imprescindível para amenizar os efeitos da adsorção de P nos solos.

Souza et al. (2016) avaliando a consorciação de pastagens de *Urochloa* com Estilosantes e Calopogônio sob aplicação de calagem e fosfatagem, concluíram que a adubação fosfatada é capaz de auxiliar no processo de recuperação de pastagens, além de aumentar a produtividade de pastagens cultivadas em regiões tropicais.

Assim, na maioria das pastagens tropicais as práticas de manejo e adubação, principalmente a fosfatada e, no caso de pastagens manejadas mais intensamente, também a nitrogenada, geralmente são necessárias durante a fase de utilização do pasto para manter ou recuperar a sua produtividade (DIAS-FILHO, 2007).

2.5.3 Adubação potássica em pastagens

O K é o cátion em maior concentração nas plantas, sendo um nutriente com relevantes funções fisiológicas e metabólicas como ativação de enzimas, fotossíntese, translocação de assimilados e também absorção de N e síntese proteica, tornando-se, portanto, limitante em sistema de produção vegetal intensiva (ANDRADE et al., 1996; ANDRADE et al., 2000). Segundo esses autores, o K é um elemento do qual não se esperam respostas residuais por um período longo de tempo, devendo sua recomendação de adubação basear-se no conhecimento de seu nível crítico no solo. O K além de ser um elemento de alto custo de importação, sofre grande lixiviação nos solos altamente intemperizados e profundos e, assim, não se acumula de maneira significativa em seus perfis (PREZOTTI et al., 1988).

Estudos têm demonstrado respostas positivas da adubação potássica para o capim-Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu). Costa & Oliveira (2006) observaram aumento da produção de massa seca de até 19% comparando com o tratamento sem adubação, quando a área foi fertilizada com potássio. Monteiro et al. (1995), cultivando capim-Marandu, constataram que, na omissão de potássio, a concentração desse nutriente na parte aérea era de 4,3 g kg⁻¹ e, nas raízes, de 3,6 g kg⁻¹, as quais foram menores do que aquelas do tratamento com adubação completa (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) que atingiram 28 e 25 g kg⁻¹, respectivamente. Com base nos resultados desses autores, constata-se que houve incremento na concentração de potássio na parte aérea e nas raízes das plantas forrageiras, quando comparados os tratamentos com omissão de potássio e aquele com adubação completa.

O efeito da fertilização com K em *Urochloa* é positivo, sendo observado aumento da produção de forragem de até 25% em pastagens na região do Cerrado, o que pode ser efeito da ação do K na ativação enzimática dos processos de fotossíntese (VOLPE et al., 2008). Segundo estes autores, em solos arenosos do Cerrado, normalmente deficientes em K, o seu uso é recomendado, geralmente, quando os teores estão abaixo de 1,3 mmolc dm⁻³.

Contudo, vale ressaltar que a resposta à aplicação de K também depende da disponibilidade de N no solo. Assim como o N, o teor de P do solo também pode limitar a eficiência da fertilização com K na produção de forragem (GODDE et al., 2020). Os solos tropicais são mais limitados pelo conteúdo de P do que pelo conteúdo de K. Assim, a fertilização com K deve ser usada após a necessidade de P ser atendida (VICENTE-CHANDLER et al., 1962; LANGE et al., 2018).

2.5.4 Adubação nitrogenada em pastagens

O N é um dos principais nutrientes para manutenção da produtividade das gramíneas forrageiras ao longo dos anos, pois é constituinte essencial das proteínas e participa diretamente no processo fotossintético, uma vez que atua tanto na fotossíntese como na divisão e expansão celular, por meio de sua composição na molécula de clorofila (MELO et al., 2021; TAIZ & ZEIGUER, 2006).

O N proveniente dos processos naturais como deposição atmosférica e fixação biológica de N₂, não é suficiente para suprir as necessidades nutricionais de plantas forrageiras e, desse modo, a principal forma de se incorporar N ao solo é por meio da adubação com fontes minerais (FAGUNDES et al., 2006). A ureia é a fonte mineral mais utilizada porque possui maior concentração de N, o que diminui os custos com transporte e aplicação; além de apresentar alta solubilidade, menor corrosividade e maior facilidade de manipulação (CIVARDI et al., 2011).

Em relação à disponibilidade de nutrientes para as plantas, o uso de fertilizantes nitrogenados é um meio eficiente de aumentar a produção de forragem, apresentando correlação positiva com o crescimento da folha e aumento do valor nutritivo da forragem (BERÇA et al., 2019; MELO et al., 2021).

De acordo com Magalhães et al. (2015), quando o N é fornecido adequadamente e em condições favoráveis para o crescimento das plantas, proporciona aumento na produção de massa seca e no teor de proteína da forragem. O N também acelera a senescência da planta forrageira, visto que aumenta as taxas de aparecimento e alongamento, contribuindo para o incremento da senescência quando a forrageira não for colhida no momento adequado (MARTUSCELLO et al., 2019). Por isso, a adubação nitrogenada deve estar sempre associada ao manejo do pastejo para evitar perdas de forragem (MELO et al., 2021).

A adição de N pode aumentar a taxa de crescimento da planta, resultando em maior produção de forragem, aumento da massa foliar verde e da concentração de proteína bruta, além de elevar a digestibilidade da energia e proteína em ruminantes e, conseqüentemente, impactar o valor nutritivo da forragem (LEMAIRE & GASTAL, 2009; RUGGIERI et al., 1995).

Hoeschl et al. (2007) relataram que respostas lineares à adubação nitrogenada para taxa de acúmulo de forragem no capim-Tanzânia ocorreram devido ao aumento do índice de área foliar, com maior taxa fotossintética por unidade de área foliar e por unidade de área de solo e ainda ao aumento da densidade populacional de perfilhos, sendo que todos esses fatores interagem e atuam conjuntamente. Além de influenciar as características morfológicas e estruturais, o valor nutritivo também é influenciado pela disponibilidade de N para as plantas, pois com maior absorção de N pelas plantas, há maior teor de N nos tecidos, resultando em maior teor de proteína, o que está ligado diretamente à produção de tecido foliar (GURGEL, 2019).

Se por um lado é necessária a obtenção de informações sobre doses adequadas das adubações para garantir a sustentabilidade da pastagem em termos agrônômicos e econômicos, por outro lado é inevitável que parte do N-fertilizante aplicado ao pasto seja perdido do sistema solo-planta (VILELA et al., 2020). Segundo estes autores, em condições de clima tropical, tem sido demonstrado que a principal via de perda do N aplicado é por meio da volatilização de amônia, principalmente nas situações em que a ureia é utilizada.

DELEVATTI et al. (2019) observaram relação linear entre a quantidade de fertilizante nitrogenado e a massa de forragem até uma taxa de 270 kg N ha⁻¹ em *U. brizantha* cv. Marandu, bem como com o acúmulo de forragem, que aumentou de 30 para 90 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de matéria seca com o aumento da adubação nitrogenada.

Também foram observadas diferenças na composição morfológica do pasto sob maiores taxas de aplicação de N em pastagens, isso ocorre devido à aumentos na taxa de alongamento

foliar, área foliar, mudanças no desenvolvimento ontogenético e aumento da taxa de senescência da planta forrageira (DELEVATTI et al., 2019).

Soares Filho et al. (1992) concluíram que a adubação com macro e micronutrientes, incluindo N, teve efeito benéfico na recuperação da pastagem e na produção de massa seca da parte aérea e raízes de *Urochloa decumbens*, utilizando uma fertilização com 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N.

2.5.5 Carbono orgânico do solo

Segundo Romão (2012) mudanças na vegetação e nos estoques de carbono orgânico do solo (COS) podem ocorrer naturalmente enquanto o ecossistema se desenvolve, amadurece ou é degradado, ou como resultado de usos do solo, com a implantação de cultivos. Para esses autores, a transformação da vegetação leva a modificações nas características físicas e químicas do solo e podem induzir mudanças nas suas reservas orgânicas. O incremento de COS depende da entrada de material orgânico por meio da senescência de componentes da biomassa acima e abaixo do solo, como a queda das folhas, morte de raízes e resíduos da exploração, com suas respectivas taxas de decomposição.

A adição de materiais orgânicos é fundamental à qualidade do solo, caracterizando-se pela liberação gradativa de nutrientes, que reduz processos como lixiviação, fixação e volatilização, embora dependa essencialmente da taxa de decomposição, controlada pela temperatura, umidade, textura e mineralogia do solo, além da composição química do material orgânico utilizado (ZECH et al., 1997).

Existem vários estudos sobre ecossistemas de pastagens em diferentes biomas do Brasil, como Amazônia, Cerrado e Mata Atlântica, que avaliaram a quantidade de carbono no solo sob cultivo em comparação ao solo sob vegetação nativa/naturalizada (EUCLIDES et al., 2010). Com base em resultados obtidos em um estudo nas regiões dos biomas Amazônia e Cerrado, verificou-se que pastagens mais produtivas acumularam mais C no solo ao longo do tempo em relação àquelas menos produtivas ou em degradação (CARVALHO et al., 2010).

Em geral, o solo sob pastagem pode acumular C em níveis comparáveis ou mesmo superiores àqueles da vegetação nativa, e pastagens degradadas induzem à perda de C acumulado (JANTALIA et al., 2006; OLSON et al., 2012). A ação das gramíneas, por meio do seu sistema radicular numeroso e bem distribuído pelos horizontes superficiais e sub-superficiais, pode contribuir para a manutenção dos teores adequados de C orgânico em profundidade (OLIVEIRA et al., 2008).

Alguns estudos conduzidos no bioma Mata Atlântica, que investigaram como as pastagens afetam os estoques de carbono do solo, reforçam a ideia de que a mudança no uso da terra tem impactos positivos sobre estoques de carbono do solo quando as pastagens são bem manejadas (SANTOS et al., 2019; TARRÉ et al., 2001; VICENTE et al., 2016). Nesse sentido, BRITO et al. (2018) avaliaram os estoques de C do solo em vegetação nativa de Cerrado, comparando pastagens produtivas e pastagens degradadas, e concluíram que os estoques de COS são maiores em pastagens produtivas do que em vegetação nativa/naturalizada e que os estoques de C em pastagens degradadas foram intermediários ou muito semelhantes aos estoques de vegetação nativa. O estudo confirmou que as pastagens produtivas de *Urochloa* aumentaram os estoques de C do solo em comparação àquelas da vegetação nativa/naturalizada do Cerrado.

Recentemente, com base em resultados de um experimento de longo prazo (22 anos) na região do Cerrado, verificou-se que as pastagens mantiveram os estoques de C do solo (de 30 a 100 cm de profundidade) em valores semelhantes àqueles da vegetação nativa/naturalizada, enquanto houve tendência de maiores estoques de C do solo para as pastagens fertilizadas (SANT'ANNA et al., 2017).

O cultivo do solo priorizando adições frequentes de matéria orgânica é a forma mais racional e ecológica de manter e/ou aumentar a fertilidade do solo tropical, embora esta estratégia seja muitas vezes inviável técnica e economicamente em grandes áreas (RONQUIM, 2010). Somado a isso, segundo este mesmo autor, em pequenas áreas é plenamente realizável e, ao contrário do que normalmente acontece no cultivo tradicional dos solos sob condições tropicais, com o passar do tempo suas condições físicas, biológicas e químicas melhoram significativamente.

Além disso, a distribuição de materiais orgânicos no solo é variável ao longo do perfil do solo e depende de vários fatores, como tipo do solo, relevo, cobertura ou uso do solo, condições climáticas, vegetação natural predominante na área, práticas de uso e manejo do solo (MADARI et al., 2009).

Zinn et al. (2018) avaliaram como a conversão de vegetação nativa para agricultura afetou a relação C: N do solo, por meio da avaliação simultânea das mudanças de COS e N do solo e concluíram que, apesar das perdas médias de COS e N do solo (14% de perdas na profundidade de 20 a 40 cm), a mudança média de N não foi significativa. Portanto, a relação C: N nos intervalos de profundidade de 0 a 20 e de 20 a 40 cm não foram significativamente afetadas pela mudança de uso da terra.

Segundo Gregorich et al. (1994) a diminuição do COS tem implicações na qualidade do solo, pois interfere em alguns dos seus principais atributos físicos e químicos. Entre os atributos físicos, Bayer & Mielniczuk (2008) destacam particularmente a agregação, com implicações na densidade, porosidade, aeração e capacidade de retenção de água. Entre os químicos, os autores destacam a disponibilidade de nutrientes, particularmente N, P e S, e a capacidade de troca de cátions. Complementando, Ostle et al. (2009) afirmaram que o COS leva décadas a séculos para acumular, mas as perdas que resultam das mudanças do uso do solo que aceleram a ciclagem do carbono pela atividade biótica (decomposição) e abiótica (distúrbios, erosão, etc.) podem ocorrer rapidamente, em anos, e são extremamente difíceis de reverter no curto prazo. Deste modo, a perda de qualidade do solo com a diminuição dos teores de COS (ou matéria orgânica) é um processo de difícil reversão (ROMÃO, 2012).

2.6 Atributos Físicos do Solo em Áreas de Pastagens

Após a retirada da vegetação natural/naturalizada e a implantação de atividades agropecuárias, as ações que envolvem as diferentes formas de uso e manejo provocam desequilíbrio no ecossistema, uma vez que o manejo adotado influenciará os processos físicos, químicos e biológicos do solo (FREITAS et al., 2017). A estrutura do solo é um fator chave para o seu funcionamento, sua capacidade de sustentar a vida vegetal e animal e moderar a qualidade ambiental com ênfase particular no sequestro de C do solo e na qualidade da água (BRONICK et al., 2005).

Schultz et al. (2019) afirmam que entre os atributos físicos do solo, a estrutura está relacionada com a formação e estabilidade dos agregados, os quais influenciam diretamente os atributos químicos, físicos e biológicos. A estrutura do solo por meio de sua agregação determina a aeração, a infiltração, a drenagem, a retenção ou perda de nutrientes e água, a susceptibilidade à erosão e a penetração de raízes (BRONICK et al., 2005; RIBEIRO et al., 2012). Desse modo, o impacto dos sistemas de preparo e manejo dos solos têm sido avaliados por meio de medidas de propriedades físicas, como a densidade e a porosidade do solo, a resistência do solo à penetração, a estabilidade dos agregados e a compactação (FREITAS et al., 2017), além da macroporosidade, microporosidade, porosidade total e capacidade de retenção de água (TORRES et al., 2013).

A qualidade física refere-se à capacidade que o solo apresenta em sustentar o desenvolvimento das plantas sem que se degrade, e o seu monitoramento se faz necessário para

o planejamento de práticas conservacionistas de manejo que levam à conservação do solo e da água (BURGREVER et al., 2019). Nesse sentido, a densidade do solo (DS) e sua resistência mecânica à penetração (RP) são as características mais utilizadas para avaliar os aspectos físicos e o grau de compactação do solo (TORRES et al., 2013). O conhecimento acerca da RP e da DS é fundamental quando o sistema de produção é submetido a diferentes manejos, pois essas variáveis estão diretamente ligadas à produção e perenidade do pasto (GURGEL, 2019).

A DS é a propriedade física mais amplamente utilizada na quantificação da qualidade física do solo em pastagens sob pastejo (BERTOL et al., 2000; LANZANOVA et al., 2007; TORRES et al., 2013). Nesse sentido, Tezolin et al. (2021) avaliando a DS nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm em diferentes sistemas de produção verificaram que a DS foi de 1,60, 1,74, 1,53, 1,38, 1,39 e 1,34 mg m⁻³, no sistema de pastagem, em áreas de cana-de-açúcar, no sistema integração lavoura-pecuária (ILP), nos sistemas plantio direto de milho, plantio direto de aveia e na mata, respectivamente. Segundo os autores, o maior valor de DS obtido na pastagem pode ser consequência do pisoteio animal ao longo do tempo, visto que nas áreas de plantio direto, a movimentação do solo pelas hastes sulcadoras das semeadoras promoveu menor DS. Resultados semelhantes foram reportados por Custódio et al. (2015) e por Ferreira et al. (2010) em área de pastagem onde houve aumento da DS em Latossolo Amarelo, nos quais a compactação em pastagem foi relacionada com a camada superficial/menor profundidade, porém, nem sempre estes são considerados restritivos para o desenvolvimento das plantas (BONETTI et al., 2015).

Segundo Ferreira et al. (2010) os valores críticos de DS nas pastagens provocam restrições ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, à infiltração e ao transporte de água, bem como às trocas gasosas entre o solo e a atmosfera.

A porosidade total do solo é a fração do volume total em um determinado volume do solo passível de ser ocupada por água e/ou ar, e esses espaços vazios formados entre as partículas sólidas, formam os agregados (TEIXEIRA et al., 2017). O seu conhecimento é importante para se entender o movimento e retenção de água, ar e solutos no solo, sendo essencial para difusão de ar e capacidade de retenção e percolação de água através do solo (BRONICK & LAL, 2005; TEIXEIRA et al., 2017).

A destruição dos agregados e a má condição estrutural do solo, muitas vezes restringem o crescimento das raízes das plantas e, portanto, a exploração eficiente do perfil do solo para obtenção de água e nutrientes, além de resultar no acúmulo de água na superfície e aumento da prevalência de doenças radiculares, que após a secagem forma uma camada superficial que restringe a germinação e a emergência de plântulas (HAYNES & NAIDU, 1998).

No cultivo, práticas que deixam o solo exposto ao impacto direto das chuvas, trazem como consequência o rompimento dos agregados, além de contribuir para a redução do teor de matéria orgânica, reconhecido como um dos principais agentes de formação e estabilização de agregados (OLIVEIRA et al., 2008). Segundo estes autores, a agregação resulta do rearranjo de partículas, floculação e cimentação mediado pelo COS, sendo o C, ao mesmo tempo, agente de ligação e núcleo na formação dos agregados.

Solos declivosos são mais suscetíveis à erosão, principalmente em regiões de chuvas intensas. A erosão tende a remover partículas leves ou de baixa densidade, incluindo argila e COS, que são dois dos principais agentes de ligação na agregação das partículas (BRONICK & LAL, 2005). Segundo FERREIRA et al. (2010) a agregação é um dos parâmetros que pode ser utilizado para mensurar a qualidade do solo, pois a manutenção da estrutura do solo facilita a aeração e a infiltração da água e reduz a erodibilidade. Ainda segundo esses autores, os agregados são fatores de grande importância para a conservação do solo por conferirem maior resistência ao processo erosivo, proteção à matéria orgânica (que atua como agente ligante na formação dos agregados) e, consequentemente, à população microbiana.

O efeito das pastagens na agregação do solo é atribuído ao crescimento e à atividade do sistema radicular das gramíneas, já que as raízes liberam uma variedade de compostos que atuam como agentes cimentantes nas partículas do solo (BRONICK & LAL, 2005). O aporte de C ao solo pelas raízes é fundamental para a existência de macroagregados, que conferem maior estabilidade aos agregados, os quais estão ligados a aspectos biológicos, como a atividade microbiana, liberação de exsudatos por raízes, crescimento e funcionamento das raízes, crescimento e morte dos tecidos, entre outros (FERREIRA et al., 2010). Somado a isso, ao aumentar a produção de forragem, aumenta-se o retorno de matéria orgânica ao solo como resíduos da colheita e, como consequência, o conteúdo de matéria orgânica do solo (HAYNES & NAIDU, 1998). Segundo estes autores, várias formas de matéria orgânica (por exemplo, moléculas húmicas e polissacarídeos) estão envolvidas na ligação de agregados do solo e na estabilidade dos agregados está frequentemente correlacionada com o conteúdo de matéria orgânica do solo.

Sistemas de manejo que proporcionem agregados mais resistentes são desejáveis, pois manterão a estrutura do solo sem grandes alterações quando submetidos à forças externas, como pisoteio de animais e operações mecanizadas, além de maior resistência às perdas por erosão (FERREIRA et al., 2010). Agregados estáveis são importantes para proporcionar boa estrutura ao solo, provendo-o com espaços porosos para desenvolvimento das raízes, da fauna e circulação de ar e água (SALTON et al., 2008). Para estes autores, a atividade do sistema radicular das gramíneas, associada à ausência de revolvimento do solo, contribui efetivamente para formação de macroagregados estáveis.

De acordo com Costa et al. (2012b), indicadores físicos, como elevados valores de resistência à penetração, são eficientes em discriminar áreas com menor crescimento e produção de raízes, que reduzem a capacidade de absorção do sistema radicular e afetam a produção de biomassa aérea. Assim, ante a subjetividade das avaliações visuais, uma maior eficácia no monitoramento de níveis de degradação das pastagens pode ser alcançada a partir de indicadores de qualidade do solo que reflitam a diminuição na produção de biomassa (LISBOA et al., 2016).

Neste sentido, em solos fisicamente degradados, a resistência do solo à penetração (RP) é uma das propriedades físicas que frequentemente restringe o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas, consequência da estreita dependência da RP em relação à condição estrutural, expressa pela densidade e pelo conteúdo de água do solo (BLAINSKI et al., 2008). O valor de RP de 2 Mega Pascal (Mpa) tem sido utilizado como crítico para o desenvolvimento das plantas, e 3,0 MPa em solos sob florestas; enquanto RP de 2,5 MPa tem sido utilizado como valor limitante para desenvolvimento das plantas em solos implantados com pastos (GURGEL, 2019).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização, Descrição da Área Experimental e Dados Climáticos

O experimento foi conduzido no Campo Experimental José Henrique Bruschi pertencente à Embrapa Gado de Leite, localizado no município Coronel Pacheco/MG (21°33'22 "S, 43°16'04 "W, 757m de altitude). O solo da área experimental foi classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (SANTOS et al., 2018). O clima da região é do tipo Cwa (mesotérmico), chuvoso no verão e com inverno seco entre junho e setembro (ALVARES et al., 2013).

Os dados meteorológicos de precipitação (mm) e temperatura (°C) (média, máxima e mínima) e o balanço hídrico (THORNTHWAIT & MATHER, 1955) do período experimental (janeiro de 2020 a abril de 2021) foram obtidos e elaborado com base no banco de dados da estação meteorológica automática, localizada no Campo Experimental José Henrique Bruschi, em Coronel Pacheco/MG (Figura 1).

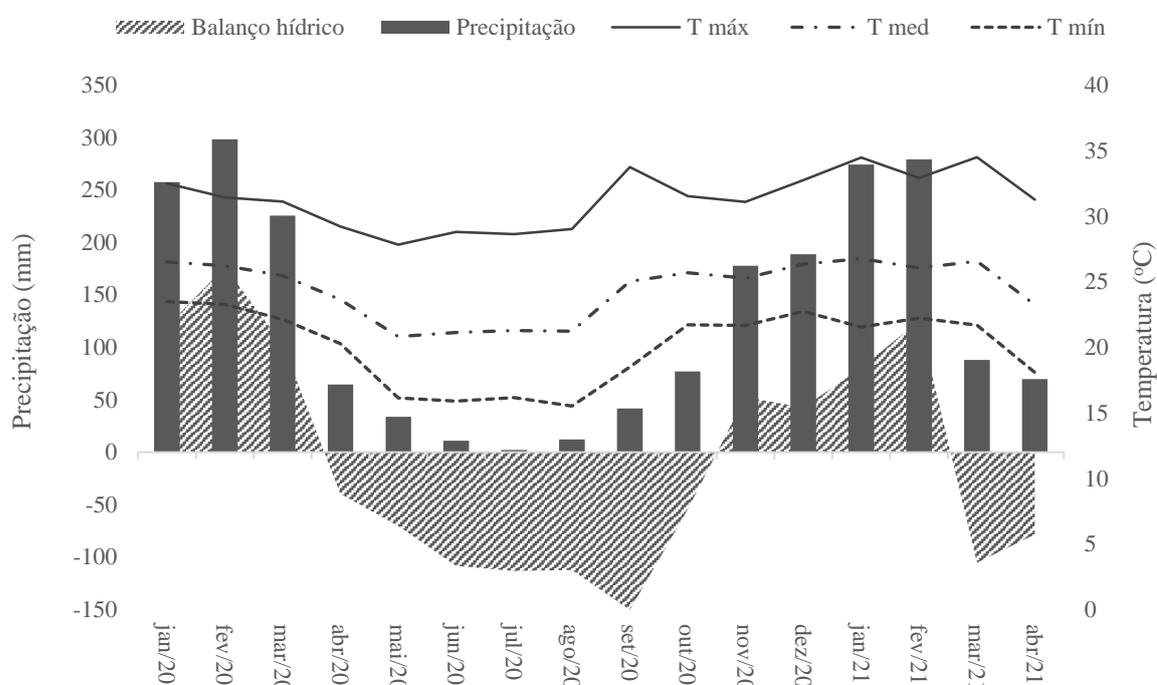


Figura 1. Temperatura máxima, média e mínima, precipitação total e balanço hídrico mensal de janeiro de 2020 a abril de 2021 do período experimental.

3.2 Tratamentos, Delineamento Experimental e Preparo da Área

O experimento consistiu na recuperação da pastagem degradada de *U. decumbens* cv. Basilisk por diferentes estratégias de calagem e adubação, ou pela renovação desta pastagem com estabelecimento de *Megathyrus maximus* cv. BRS Quênia. Os tratamentos estabelecidos foram: CTRL - pastagem degradada de *U. decumbens* cv. Basilisk sem calagem e adubação; CAL - calagem de manutenção; CAL+P - calagem e adubação fosfatada de manutenção; CAL+NPK - calagem e adubações nitrogenada, fosfatada e potássica de manutenção; QCAL+NPK - calagem e adubações nitrogenada, fosfatada e potássica de formação, associadas à renovação com implantação de *Megathyrus maximus* cv. BRS Quênia em substituição a forrageira original (*U. decumbens* cv. Basilisk) (Figuras 2 e 3).

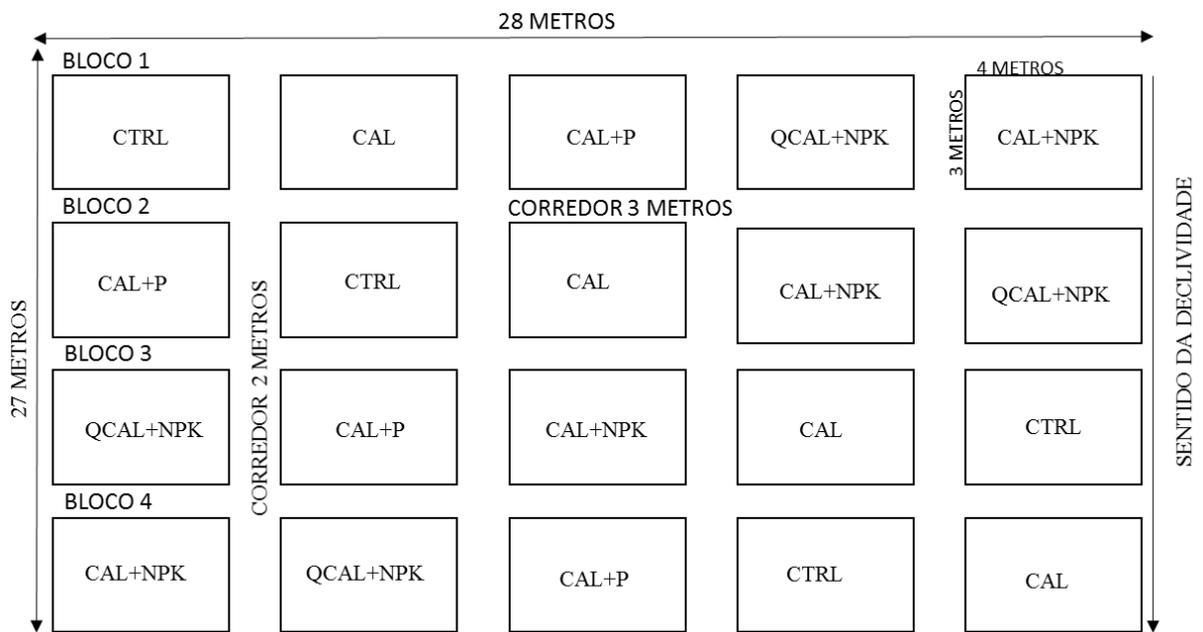


Figura 2. Croqui da distribuição dos tratamentos na área experimental.

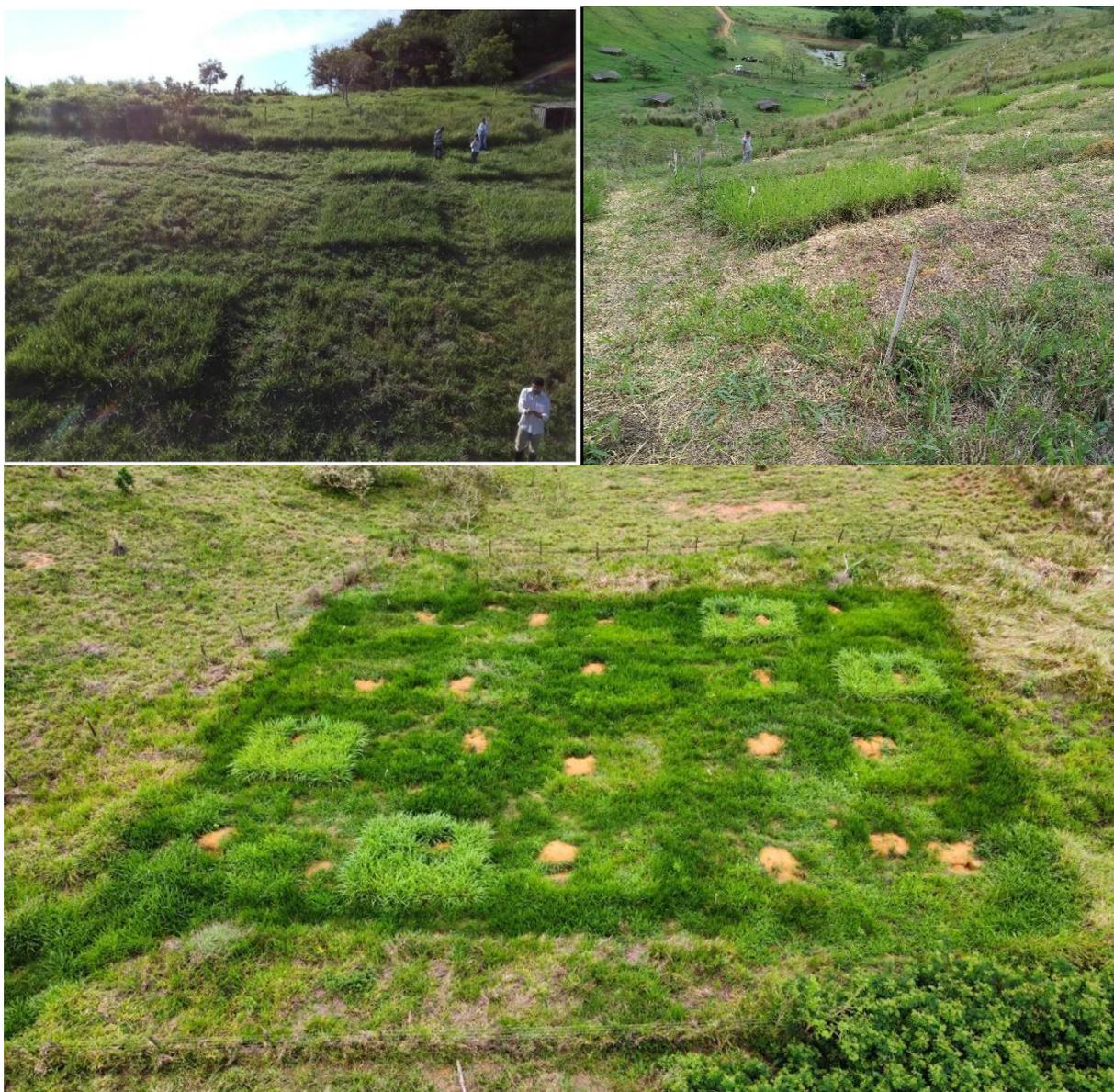


Figura 3. Foto da distribuição dos tratamentos na área experimental. Fonte: Arquivo pessoal e DGB Imagens aéreas.

As unidades experimentais (parcelas) possuíam 4 x 3 m (12 m²) cada, onde foram alocados os tratamentos sob delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Foi desconsiderada a área de bordadura (0,50 m de cada lado) das unidades experimentais.

A escolha da *M. maximus* cv. BRS Quênia para a estratégia de renovação de pastagem degradada de *U. decumbens* cv. Basilisk ocorreu em função de seu elevado potencial de produção e boa adaptação em áreas declivosas da Zona da Mata de Minas Gerais (FREITAS, 2019; VALOTE et al, 2021).

Para a implantação do tratamento QCAL+NPK, houve a substituição da forrageira predominante da área de *U. decumbens* cv. Basilisk, por meio da capina total da parcela e a semeadura da nova forrageira *M. maximus* cv. BRS Quênia. A semeadura foi realizada em linhas, na densidade de 5 kg ha⁻¹ de sementes puras viáveis. A cultivar BRS Quênia foi implantada na área experimental em 28/10/2019 e em 06/01/2020 foi realizado um corte em

todas as suas parcelas para estimular seu perfilhamento, rebaixado para altura meta de manejo pós corte (35 cm).

O estudo foi realizado em área de morro, típico da Zona da Mata de Minas Gerais, na qual foi utilizada a declividade como critério para blocagem da área.

As recomendações das necessidades de calagem e adubação de manutenção da pastagem da *U. decumbens* cv. Basilisk referentes aos tratamentos CAL, CAL+P, CAL+NPK; e de calagem e adubação de formação da pastagem de *M. maximus* cv. BRS Quênia referente ao tratamento QCAL+NPK, foram feitas de acordo com os resultados obtidos na análise química das amostras de solo coletadas em 12/03/2019 (médias das três profundidades; saturação por bases (V) = 6,31% e capacidade de troca catiônica (T) = 9,30 cmol_c dm⁻³) (CFSEMG, 1999). A quantidade aplicada de calcário foi recomendada com base na elevação da V para 40% nos tratamentos com a *U. decumbens* cv. Basilisk e para 60% naquele com a *M. maximus* cv. BRS Quênia, utilizando-se calcário dolomítico com 86% de PRNT. Para a aplicação de calcário nas parcelas do QCAL+NPK, após a remoção de todo material vegetal, foi realizado a aplicação e a distribuição uniforme do calcário em toda área, incorporando apenas superficialmente utilizando enxada. Para os tratamentos CAL, CAL+P e CAL+NPK, foi aplicado calcário manualmente, distribuindo superficialmente, evitando o contato com as plantas já existentes na área.

A recomendação de calcário para manutenção *U. decumbens* cv. Basilisk foi de 3,64 t ha⁻¹, fracionada em quatro aplicações superficiais de 1,09 kg cada por unidade experimental (em 11/04, 10/08, 22/10 e 12/12/19) e aquela para formação da BRS Quênia foi de 5,77 t ha⁻¹, fracionada em duas aplicações superficiais (em 11/04 e 28/09/2019) de 3,46 kg cada por unidade experimental. Para evitar o efeito de sobrecolagem, as aplicações de calcário na área foram fracionadas em quatro aplicações para *U. decumbens* cv. Basilisk, e duas para o *M. maximus* cv. BRS Quênia.

Em 25/04/2019 foi aplicado superfosfato simples (P₂O₅) de forma superficial, seguindo recomendação de manutenção da *U. decumbens* cv. Basilisk, na dose de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Para implantação da BRS Quênia foi utilizada a dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ somente no dia da implantação da forrageira (28/10/2019).

A recomendação de adubação nitrogenada e potássica foi de 30 kg ha⁻¹ para *U. decumbens* cv. Basilisk e BRS Quênia, que foram aplicadas após cada corte de massa de forragem, usando formulação comercial de 20-00-20 (NPK), com aplicação de 180 g da fórmula por parcela após cada corte, levando em consideração a previsão do tempo no dia da aplicação e no seguinte, procedendo a aplicação em condições pluviométricas adequadas. Estas adubações foram equivalentes a 240 kg ha⁻¹ de N e K₂O para CAL+NPK e 270 kg ha⁻¹ de N e K₂O para o QCAL+NPK, realizadas em oito aplicações para o CAL+NPK e nove para o QCAL+NPK após os cortes durante o período experimental (15 meses). Não foram realizadas adubações de manutenção após os cortes de final do outono nos dois anos de avaliação para ambos os tratamentos, em decorrência do início da época seca durante o período experimental.

3.3 Caracterização do Solo da Área Experimental

A declividade da área experimental foi calculada com auxílio de um clinômetro (nível de Abney) para a qual foram avaliadas as inclinações em cada bloco, (em dois pontos por bloco) considerando a média da declividade total dos blocos pela fórmula:

$$D (\%) = V / H * 100$$

Em que: D= declividade do terreno (%), V= distância entre o chão e a marca feita na estaca (distância vertical), H= Distância horizontal entre os pontos A e B (nível).

Com esse método estimou-se uma declividade média de 74% para a área experimental, a qual foi classificada como de relevo montanhoso (classe de 45 a 75% de declividade) de acordo com Santos et al. (2015).

Cabe ressaltar que a área experimental está localizada em um ponto da paisagem onde a classificação geral do relevo quanto à declividade é forte ondulado (de 20 a 45% de declividade), porém na região de Coronel Pacheco predomina a declividade da classe de relevo montanhoso (SANTOS et al., 2015).

A fase experimental iniciou em 22/03/2019, quando foi realizada a caracterização física e química inicial do solo de toda a área (sem distinção de unidade experimental), e terminou em 25/06/2021, com a repetição das mesmas caracterizações que foram realizadas no início, avaliadas por unidade experimental, para verificar o efeito dos tratamentos estudados nas parcelas.

3.3.1 Caracterização química e carbono orgânico do perfil de solo

Em 21/03/2019 (antes da implantação do experimento) utilizando trado tipo sonda, foi realizada a coleta de 25 amostras simples do solo na área experimental (formando uma amostra composta por profundidade posteriormente) nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, utilizada para as determinações das necessidades de calagem e adubações dos tratamentos, utilizando trado sonda.

Além disso, foi realizado a classificação do solo até o nível hierárquico de grandes grupos, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018), por meio da abertura de uma trincheira de 2 x 1,2 x 2 m (comprimento, largura e profundidade, respectivamente), para descrição morfológica do perfil (ANEXO I) segundo Santos et al. (2015), além da caracterização química dos horizontes segundo Teixeira et al. (2017). Para a caracterização química foram analisados o pH em água; Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} com extrator KCl 1,0 mol L⁻¹; Na^+ , K^+ e P com extrator Mehlich 1 e H^+ + Al^{3+} com extrator acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,1 a 7,2. Com base nos resultados foram calculados a soma de bases trocáveis (S), a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), a capacidade de troca catiônica efetiva (t) e a saturação por bases (V). A determinação COS foi realizada pela oxidação da matéria orgânica pelo dicromato de K ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,2 mol L⁻¹, em meio sulfúrico, e titulação pelo sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol L⁻¹, aferindo-se o volume em milímetros gastos para que a cor azul característica do líquido fosse substituída pelo verde, seguindo a metodologia de Yeomans & Bremner (1988). Seguindo estas metodologias, foi possível realizar a caracterização química e o teor de COS dos horizontes do perfil de solo (Tabela 1) e das profundidades (Tabela 2) para caracterizar o solo da área no período pré- experimental.

Tabela 1. Caracterização química e carbono orgânico do solo (COS) dos horizontes do perfil de solo utilizado para classificar o solo da área experimental, em março de 2019.

Horizonte do solo	pH	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S	T	t	P	K	V	COS
	H ₂ O	----- cmol _c dm ³ -----					mg dm ⁻³			%	g kg ⁻¹		
A	4,80	1,80	0,70	0,00	0,75	8,00	2,76	10,81	3,56	12	102	26	13,80
AB	4,80	0,80	1,00	0,03	1,00	6,50	1,96	8,46	2,96	4	48	23	20,60
BA	4,67	0,60	0,95	0,02	0,95	5,80	1,58	7,39	2,54	3	5	21	15,60
Bw1	4,85	0,50	0,50	0,02	0,80	4,80	1,04	5,83	1,83	2	7	18	8,00
Bw2 ⁺	5,12	0,40	0,80	0,06	0,55	4,20	1,27	5,47	1,82	3	6	23	5,40

S: soma de bases trocáveis; T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; t: capacidade de troca catiônica efetiva; V: saturação por bases; COS: carbono orgânico do solo.

Optou-se pela apresentação dos resultados obtidos por profundidade da área total (representando a condição média de 4 repetições), para caracterização química e do COS, visto que a área seria considerada homogênea de condição química inicial (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização química e carbono orgânico do solo (COS) da área experimental, em março de 2019.

Profundidade (cm)	pH	Ca	Mg	Na	Al	H+Al	S	T	t	P	K	V	COS
	H ₂ O	----- cmol _c dm ³ -----					mg			%	g kg ⁻¹		
0 a 5	4,4	0,4	0,2	0,0	1,0	9,32	0,7	10,11	1,8	3	4	8	23,7
5 a 10	4,4	0,3	0,1	0,0	1,0	8,83	0,5	9,40	1,6	3	3	6	20,5
10 a 20	4,4	0,2	0,1	0,0	1,2	8,00	0,4	8,40	1,6	2	2	5	17,1

Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺: extrator KCl; Na, K, P: extrator Mehlich 1; H + Al: extrator acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹ a pH 7,1 a 7,2; S: soma de bases trocáveis; T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; t: capacidade de troca catiônica efetiva; V: saturação por bases; COS: carbono orgânico do solo.

3.3.2 Análise granulométrica dos horizontes

Nos horizontes do perfil foi realizada análise granulométrica pelo método da pipeta, para determinação da argila natural, argila total, areia grossa, fina e total e o grau de floculação da argila, segundo Teixeira et al. (2017) (Tabela 3).

Tabela 3. Granulometria e grau de flocculação da argila do solo da área experimental, em março de 2019.

Horizonte do solo	Profundidade (cm)	Argila total	Argila natural	Silte	-----g kg ⁻¹ -----			Grau de flocculação %
					Areia total	Areia grossa	Areia fina	
A	0 a 9	560	20	160	280	180	100	96,43
AB	9 a 21	590	430	180	230	130	100	27,12
BA	21 a 37	610	390	180	210	110	100	36,06
Bw1	37 a 118	670	20	160	170	80	90	97,01
Bw2 ⁺	118 a 180	690	20	120	190	100	90	97,10

3.4 Caracterização Física do Solo da Área Experimental

Para a caracterização física do solo (antes da implantação dos tratamentos) foram determinadas a densidade do solo (DS), a densidade das partículas (DP), o volume total de poros (VTP), a estabilidade dos agregados (EA) e resistência do solo à penetração (RSP) na área experimental. A DS foi determinada pelo método do cilindro volumétrico (Anel de Kopeck de 128,89 cm³); a DP pelo método do balão volumétrico e o VTP calculado pela relação DS/DP, com oito repetições por camada de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, segundo o manual de métodos de análises de solo (TEIXEIRA et al., 2017; Tabela 4).

Tabela 4. Densidade do solo (DS), densidade das partículas (DP) e volume total de poros do solo (VTP) da área experimental, em março de 2019.

Profundidade (cm)	DS	DP	VTP
	(g cm ⁻³)		%
0 a 5	1,18	2,58	54,27
5 a 10	1,20	2,58	53,49
10 a 20	1,13	2,59	56,37
20 a 40	1,04	2,61	60,15

A estabilidade dos agregados por via úmida foi determinada com oito repetições, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade, pelo método de Yoder, quantificada pelo diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e o índice de estabilidade dos agregados (IEA) segundo o manual de métodos de análises de solo (TEIXEIRA et al., 2017; Tabela 5).

Tabela 5. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade dos agregados (IEA) do solo da área experimental, em março de 2019.

Profundidade (cm)	DMP	DMG	IEA
	mm	mm	%
0 a 10	4,36	3,63	99,02
10 a 20	4,48	3,92	99,17

A resistência do solo a penetração (RSP) foi avaliada com Penetrômetro de Impacto Stolf, do tipo dinâmico. A análise consiste na seguinte sequência para a avaliação da resistência

do solo à penetração: inicialmente posiciona-se o equipamento e libera-se a haste com a ponteira cônica no orifício da chapa no solo; a penetração da haste no solo deve ocorrer somente com o peso do êmbolo (4 kg); após cessar a penetração da haste no solo somente com o peso do êmbolo anota-se a profundidade atingida que corresponde ao impacto zero; em seguida, sem retirar a haste do solo é efetuado um impacto com o êmbolo erguido até no limite máximo da fita métrica de 70 cm e anota-se a profundidade atingida pela haste com a leitura na fita métrica; em seguida são efetuadas sequências de dois impactos e anotações das profundidades atingidas até que se atinja a profundidade pré determinada, que no caso deste estudo foi de 40 cm. Esta metodologia encontra-se detalhada por Stolf et al. (2014), com auxílio de planilha Excel elaborada pelos mesmos autores para o cálculo da resistência a penetração do solo e elaboração das curvas características de toda a área experimental (para caracterização inicial da área) e de cada unidade experimental (para caracterização final dos tratamentos) (Figura 4).



Figura 4. Avaliação da resistência do solo à penetração (RSP) utilizando-se o penetrômetro de impacto, em março de 2019. Fonte: Arquivo pessoal.

Foram realizados testes em quatro pontos aleatórios por bloco, totalizando 16 repetições para a área experimental, das quais foi calculada a RSP média e a elaborada da curva média, segundo metodologia desenvolvida por Stolf et al. (2014) (Figura 5).

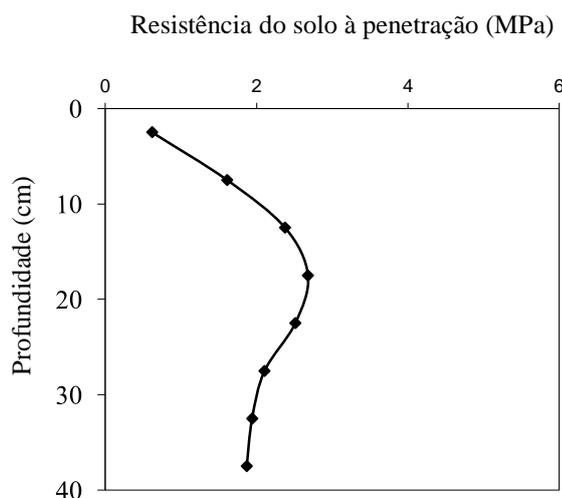


Figura 5. Resistência do solo à penetração, com base em 16 repetições na área experimental total, em março de 2019.

3.5 Avaliação da Influência dos Tratamentos nos Atributos Químicos e Físicos do Solo

Em junho de 2021, após a finalização de todas as avaliações do estudo, foi realizada uma nova caracterização dos atributos químicos e físicos do solo. A amostragem foi realizada nas mesmas profundidades descritas para a caracterização inicial (0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade), porém com a coleta de três amostras simples para formar uma composta por unidade experimental. As análises foram realizadas seguindo a mesma metodologia descrita para a caracterização inicial (TEIXEIRA et al., 2017).

A DS, DP e o VTP foram avaliados seguindo os mesmos procedimentos descritos na avaliação inicial, porém com base na coleta de duas amostras por unidade experimental, das quais foi calculado o valor médio para a unidade experimental. A estabilidade dos agregados do solo foi avaliada com base na coleta de uma amostra por camada em cada unidade experimental, nas mesmas profundidades avaliadas na caracterização inicial. Para a RSP foram realizados três testes por unidade experimental, dos quais foi calculada a média que foi utilizada para a análise estatística dos valores de RSP entre os tratamentos para cada camada. As curvas de RSP foram elaboradas por tratamento, com base em 12 avaliações (três testes por unidade experimental x quatro repetições por tratamento). Visando avaliar o impacto do sistema radicular das forrageiras na distribuição da porosidade do solo, foi realizada na profundidade de 0 a 10 cm a coleta de uma amostra de solo indeformada por unidade experimental utilizando um coletor Uhland, para avaliação da macro e microporosidade por meio do método da mesa de tensão, segundo Teixeira et al. (2017).

3.6 Teor Volumétrico de Água no Solo (TVAS)

Para avaliação do teor volumétrico de água no solo (umidade do solo) foi utilizada a sonda medidora de umidade, modelo MPM160B (ICT INTERNATIONAL, 2017), que consiste no princípio da avaliação da constante dielétrica (K_a) (compondo uma matriz água: solo: ar), que é específica de cada material. A constante dielétrica da água é aproximadamente igual a 80, enquanto a constante dielétrica do solo é aproximadamente 3 ou 4 e do ar é igual a 1. Portanto, quaisquer mudanças na relação da matriz de volume da água resultarão em uma mudança substancial na constante dielétrica da matriz. Assim, o conteúdo de água do solo pode ser

medido exatamente porque as mudanças no conteúdo de água do solo resultam em mudanças na constante dielétrica do solo.

Para a avaliação do teor volumétrico de água no solo foram realizadas medições em três pontos aleatórios por unidade experimental, com frequência semanal, nas mesmas estações do ano em que foram coletadas as amostras de massa de forragem. Foi obtido um valor médio de cada tratamento para cada estação, que foi utilizado para avaliação estatística.

Para essa medição, a sonda foi posicionada verticalmente na superfície do solo e empurrada em direção ao solo (6 cm de profundidade), nas quais as agulhas da base do aparelho foram totalmente enterradas no perfil do solo. Os valores apresentados instantaneamente no leitor do aparelho indicam o conteúdo volumétrico de água no solo, que foram descritos em porcentagem (Figura 6).

A umidade do solo também foi avaliada pelo método padrão da estufa (gravimétrico), com base na coleta de 20 amostras de solo (de 0 a 10 cm de profundidade) totalizando uma amostra em cada unidade experimental. Essas amostras foram utilizadas para gerar um fator de correção entre a umidade coletada na sonda medidora de umidade com a umidade obtida pelo método da estufa. Além disso, foram coletadas 20 amostras na camada 0 a 40 cm de profundidade, que foram utilizadas para a discussão dos dados de resistência a penetração. Todas as amostras do método gravimétrico foram coletadas no final do período experimental, em 28/06/2021.



Figura 6. Avaliação do teor volumétrico de água no solo com a sonda medidora de umidade (MPM160B). Fonte: Arquivo pessoal e ICT INTERNATIONAL, 2017.

3.7 Critérios de Manejo, Intervalos de Corte, Índice SPAD e Interceptação Luminosa

O critério de manejo utilizado para o corte da massa de forragem foi a altura do dossel, considerando um manejo mais leniente para as estratégias de recuperação de pastagens de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk na região da Zona da Mata de Minas Gerais (LOPES et al., 2017; PACIULLO et al., 2016) e um manejo mais intensivo para a estratégia de renovação de pastagem com o *Megathyrus maximus* BRS Quênia (JANK et al., 2017).

Durante o período experimental, quando os dosséis forrageiros dos capins *U. decumbens* cv. Basilisk e *Megathyrus maximus* BRS Quênia atingiram 40 e 70 cm de altura (alturas de

corde), estes foram rebaixados para 20 e 35 cm de altura (alturas de resíduo), respectivamente, com roçadeira costal. Estas alturas de corte e de resíduo foram adotadas com base na condição média de manejo para a *U. decumbens* cv Basilisk (LOPES et al., 2017; PACIULLO et al., 2016) e a *M. maximus* BRS Quênia (JANK et al., 2017). As alturas médias dos dosséis forrageiros das parcelas dos tratamentos durante o período experimental (Figura 6) foram avaliadas utilizando-se uma régua graduada em centímetros para medir a distância da superfície do solo até as curvaturas das folhas completamente expandidas do ápice do dossel (Figura 7).

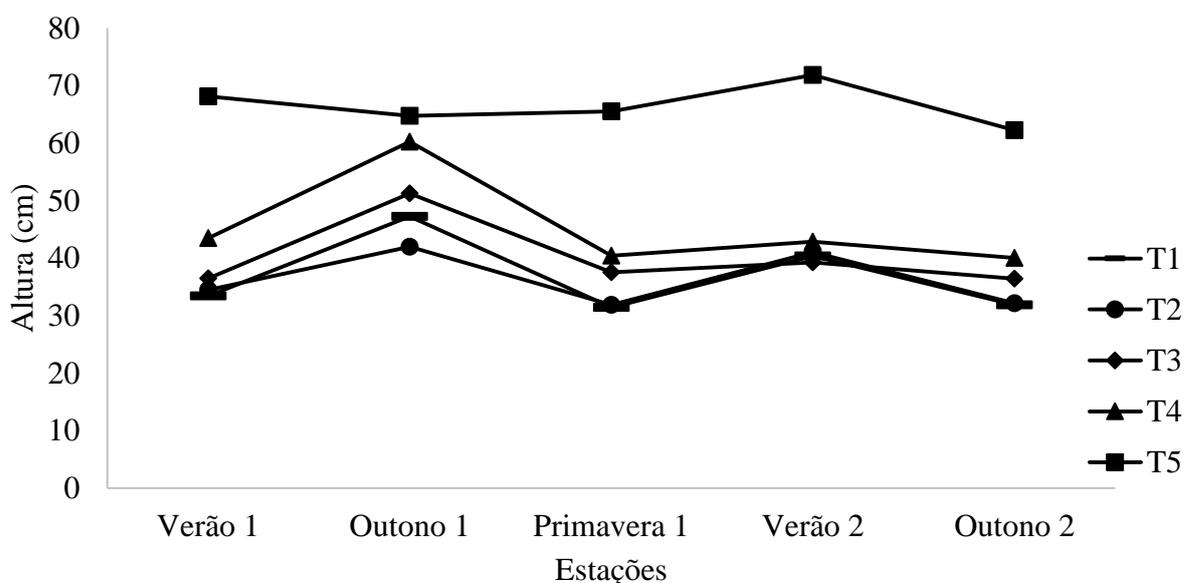


Figura 7. Alturas dos tratamentos observadas durante o período experimental.

Durante o período experimental a altura de manejo da área foi avaliada semanalmente, e caso essa não aumentasse em duas avaliações consecutivas, as amostras foram coletadas e o dossel rebaixado para a condição pós corte (20 cm para *U. decumbens* e 35 cm para *M. maximus* BRS Quênia).

No outono 1 todos os tratamentos com *U. decumbens* obtiveram maiores alturas que as metas pré-definidas devido às restrições impostas pela pandemia de COVID19, pois o acesso limitado à área experimental, impediu o acompanhamento semanal do experimento, em função disso o dossel apresentou maior altura nessa estação devido este período ter sido favorável ao crescimento das plantas, apesar de ter havido apenas um corte de forragem devido ao problema relatado.

Seguindo esse critério, os intervalos entre cortes resultaram em diferentes datas e intervalos médios de corte por tratamento durante o período experimental. Foram consideradas as estações do ano de primavera 1 (23 de setembro a 22 de dezembro), verão 1 e 2 (21 de dezembro a 20 de março), outono 1 e 2 (21 de março a 21 de junho) (Tabela 6).

Tabela 6. Datas e intervalos dos cortes (dias) de massa de forragem em função dos tratamentos nas estações do ano.

Estações	Data de corte*				
	CTRL	CAL	CAL+P	CAL+NPK	QCAL+NP K
Verão 1	09/03/2020 (39)	09/03/2020 (39)	09/03/2020 (39)	09/03/2020 (39)	17/02/2020 (18) 09/03/2020 (21)
	29/04/2020 (51)	29/04/2020 (51)	29/04/2020 (51)	29/04/2020 (51)	25/03/2020 (16) 29/04/2020 (35)
Primavera 1	28/10/2020 (182)	28/10/2020 (182)	28/10/2020 (182)	28/10/2020 (182)	28/10/2020 (182)
	03/12/2020 (36)	03/12/2021 (36)	26/11/2020 (29)	17/11/2020 (20)	17/11/2020 (20)
			29/12/2020 (33)	16/12/2020 (29)	10/12/2020 (23)
					29/12/2020 (19)
Verão 2	13/01/2021 (41)	13/01/2021 (41)	19/01/2021 (21)	07/01/2021 (22)	19/01/2021 (21)
	09/03/2021 (55)	09/03/2021 (55)	09/03/2021 (49)	26/01/2021 (19)	02/03/2021 (42)
				02/03/2021 (35)	
Outono 2	28/04/2021 (50)	28/04/2021 (50)	23/04/2021 (45)	24/03/2021 (22)	08/04/2021 (37)
				23/04/2021 (30)	

*Corte de uniformização da área experimental 30/01/2020. Números entre parênteses correspondem aos intervalos entre cortes dos tratamentos em cada estação, em dias. Primeiro corte do verão 1 corresponde ao intervalo de corte desde o corte de uniformização. CTRL: *U. decumbens* cv. Basilisk; CAL: *U. decumbens* cv. Basilisk e calagem; CAL+P: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação fosfatada; CAL+NPK: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação com NPK; QCAL+NPK: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e adubação com NPK.

Foi realizado um corte de uniformização do dossel forrageiro de toda a área em 30/01/2020, data considerada como o início do período experimental para avaliação da forragem. Posteriormente, quando a altura meta de corte foi alcançada para cada tratamento, iniciou-se o período para identificação do intervalo entre cortes de cada tratamento e avaliações da forragem que terminaram no último corte de avaliação da massa de forragem (28/04/2020).

Não houve avaliação na área experimental a partir de abril de 2020 devido às ações recomendadas pela EMBRAPA para evitar a proliferação de COVID19, que impediram o acompanhamento das condições da área durante o período do inverno. As avaliações foram retomadas em outubro de 2020.

O cálculo dos dias dos intervalos entre cortes foi realizado com base data do corte considerado menos a data do corte anterior, sucessivamente, a partir do corte de uniformização

realizado em 30/01/2020, e nos casos em que haviam mais de um corte na estação, foi calculada a média de dias entre os cortes para cada tratamento para representar a estação.

Para avaliação do índice SPAD (Soil Plant Analysis Development), utilizou-se o medidor portátil SPAD-502, que avalia, quantitativamente, a intensidade do verde da folha, medindo as transmissões de luz a 650 nm, onde ocorre a absorção de luz pela molécula de clorofila e a 940 nm, onde não ocorre absorção. Com esses dois valores, o equipamento calcula o índice SPAD, que normalmente está altamente correlacionado ao teor de clorofila da folha (MARTUSCELLO et al., 2009). Para esta avaliação, as leituras foram realizadas no meio da última folha totalmente expandida (lígula aparente), com a face adaxial virada para cima e posicionada no meio do clipe medidor. Foram avaliadas 15 folhas por unidade experimental somente ao final do período experimental (outono 2) para monitoramento e caracterização das condições dos dosséis forrageiros e identificação dos valores médios por tratamento e os resultados são apresentados no ANEXO II (Figura 8).



Figura 8. Avaliação da intensidade do verde das folhas utilizando-se o Clorofilômetro SPAD. Fonte: Arquivo pessoal.

A análise da interceptação luminosa (IL) foi realizada com o ceptômetro AccuPAR® LP-80 (ICT INTERNATIONAL, 2013), seguindo metodologia descrita por Silva et al. (2018c). Foram realizadas leituras em três pontos em cada unidade experimental. No presente estudo, os pastos não foram manejados seguindo o critério de IL (95%) visto que trabalhos utilizando esse critério de manejo utilizam pastos monoespecíficos de gramíneas (CARNEVALLI et al., 2006; PEDREIRA et al., 2007; MOURA et al., 2017), e como na área experimental havia presença de plantas daninhas de folha larga, esta poderia contribuir erroneamente para a avaliação da IL. As avaliações de interceptação luminosa foram avaliadas somente nas últimas estações (verão e outono 2) para monitoramento e caracterização das condições dos dosséis forrageiros.

3.8 Massa e Acúmulo de Forragem, suas Composições Botânica e Morfológica

Para determinação da massa de forragem no estrato pastejável, e composições botânica e morfológica, foram coletadas (acima das alturas de resíduo dos capins *U. decumbens* cv. Basilisk e BRS Quênia) duas amostras por unidade experimental (na área útil), contidas em moldura metálica com área de 0,25 m² (0,5 x 0,5 m) cada. A massa de forragem no estrato pastejável foi obtida por meio da pesagem de toda a massa verde contida no interior das molduras. Posteriormente, essa amostra foi separada e subamostrada em duas alíquotas, uma para estimativa da composição botânica e morfológica e outra para avaliação do valor nutritivo da forragem.

Na primeira subamostra, a composição botânica foi obtida por meio da separação manual das gramíneas forrageiras das plantas daninhas. Para separação morfológica, os capins *U. decumbens* cv. Basilisk e BRS Quênia foram fracionados em lâminas foliares, pseudocolmo (colmo+bainha, inflorescência) e material morto (Figura 9).

Em seguida, todos os componentes das composições botânica e morfológica foram pesados, acondicionadas em saco de papel e secados em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas, para estimativa da porcentagem dos componentes em relação a massa de forragem total. A relação folha: colmo foi obtida pela proporção entre folha e colmo presente na amostra.



Figura 9. Separação dos componentes morfológicos e botânicos: folhas, colmos + inflorescência, material morto e plantas daninhas da subamostra (A). Identificação das plantas daninhas da área experimental (B).

A massa de forragem total acumulada foi calculada pelo somatório de todos os cortes realizados dentro de cada estação (cortada no estrato pastejável dos capins *U. decumbens* e BRS Quênia). As taxas de acúmulo de forragem foram obtidas pela divisão dos valores de acúmulo de forragem pelo número de dias correspondentes a cada intervalo de corte de cada tratamento, em cada estação do ano.

Apesar de não contabilizada o número de ocorrência de cada planta invasora nas unidades experimentais, as mais comuns identificadas na área durante o período da coleta de dados foram fotografadas, catalogadas e posteriormente identificadas de acordo com o Manual de identificação de plantas infestantes (MOREIRA & BRAGANÇA, 2011) e pelo Manual de Identificação e Manejo de Plantas Daninhas em Cultivos de Cana-de-açúcar (BRIGHENTI, 2010) como: capim-gordura (*Melinis minutiflora*), malva branca (*Sida cordifolia* L), sapê (*Imperata brasiliensis*), corda de viola (*Ipomoea cairica*), mata pasto (*Eupatorium maximilianii*), carrapicho rasteiro (*Acanthospermum australe*), gervão (*Croton glandulosus*),

pega-pega (*Desmodium incanum*), tiririca (*Cyperus rotundus*), falsa serralha (*Emilia fosbergii*), botão azul (*Praxelis pauciflora*), guaco (*Mikania cordifolia*).

As plantas daninhas foram estimadas representativamente por meio da separação botânica (*U. decumbens* ou BRS Quênia e plantas daninhas) das alíquotas obtidas na massa de forragem.

3.9 Valor Nutritivo da Forragem

A subamostra da massa de forragem verde (aproximadamente 300 g) utilizada para determinação do valor nutritivo foi inicialmente secada em estufa de circulação forçada de ar a 55 °C por 72 horas, e moída em moinho tipo Willey com peneira de 1 mm (Willey mil; A.H. Thomas, Philadelphia, PA). Os teores de matéria seca (MS) foram determinados pelo método gravimétrico (AOAC, 2005; método 930,15), e aqueles de proteína bruta (PB) foram analisados pelo procedimento de Kjeldahl (AOAC, 1990; método 984,13) e calculados como o total de N \times 6,25. O conteúdo de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) foi analisado de acordo com metodologia de Van Soest et al. (1991), utilizando um analisador de fibra Ankom 220 (Ankom technology, Fairport, EUA). Para análise de FDN, foi utilizada uma α -amilase termoestável sem adição de sulfito de sódio. Para estimativa da digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS; g kg⁻¹) foi utilizado um fermentador artificial de rúmen (DAISY^{II} da ANKOM® Technology Corporation) de acordo com metodologia descrita por Tilley & Terry (1963) e Holden (1999).

A digestibilidade *in vitro* da matéria seca foi calculada seguindo a equação:

$$DIVMS = 100 \times (MSi - MSf) / MSi$$

onde: MSi é a matéria seca inicial; MSf é a matéria seca final.

Todas as amostras foram analisadas no Laboratório de Nutrição Animal da Embrapa Gado de Leite, em Juiz de Fora/MG.

3.10 Análises Estatísticas

Todos os dados foram analisados utilizando o procedimento MIXED do pacote estatístico SAS, 2013 (version 9.4, SAS Institute. Inc., Cary, NC, USA). A análise de variância do dossel, forragem e teor volumétrico de água no solo, os tratamentos, as estações do ano e suas interações foram consideradas como efeitos fixos. Os blocos e a interação entre bloco e tratamento foram considerados como efeitos aleatórios. As estações foram incluídas no modelo como medidas repetidas no tempo utilizando o comando REPEATED do SAS. A escolha da matriz de covariância foi realizada com base no Critério de Informação de Akaike-AIC (WOLFINGER, 1993).

O modelo matemático utilizado foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \text{Trat}_i + E_j + \text{Trat}_{ij} \times E_{ij} + B_l + e_{ijkl}$$

em que: μ é a média; Trat_i é o efeito de tratamento; E_j é efeito de estação; $\text{Trat}_{ij} \times E_{ij}$ é o efeito de interação entre tratamento e estação; B_l é o efeito de bloco; e_{ijkl} é o erro experimental.

Para análise dos atributos do solo, foi utilizado o arranjo em parcelas subdivididas, sendo os tratamentos considerados na parcela, as profundidades do solo na subparcela e os blocos como efeito aleatório. Os dados foram analisados pelo pacote estatístico SAS, 2013 (version 9.4, SAS Institute. Inc., Cary, NC, USA), utilizando o procedimento GLM.

Os atributos de fertilidade e densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico, índice de estabilidade de agregados e resistência do solo a penetração foram analisadas seguindo o modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + \text{Trat}_i + P_j + \text{Trat}_{ij} \times P_{ij} + B_l + e_{ijkl}$$

em que: μ é a média; $Trat_i$ é o efeito de tratamento; E_j é efeito de profundidade; $Trat_{ij}$ x E_{ij} é o efeito de interação entre tratamento e profundidade; B_1 é o efeito de bloco; e_{ijkl} é o erro experimental.

Para os atributos de macro e microporosidade e a porosidade total, índice SPAD, o tratamento foi considerado como efeito fixo e o erro como efeito aleatório, seguindo o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + Trat_i + e_{ij}$$

em que: μ é a média; $Trat_i$ é o efeito de tratamento; e_{ijkl} é o erro experimental.

As médias dos tratamentos de todas as variáveis do dossel, da forragem e os atributos do solo foram estimadas pelo LSMEANS e comparadas pelo teste da diferença mínima significativa ajustada de Fisher (LSD), a significância foi declarada adotando-se $p < 0,05$.

4 RESULTADOS

4.1 Atributos Químicos do Solo

Houve efeito da interação entre tratamento e profundidade ($p < 0,05$) para os atributos pH, Ca, Mg, Al, H+Al, S, t, m, V e P (Tabela 7). Somente houve efeito de profundidade para T ($p < 0,0001$). Não houve efeito de tratamento ($p = 0,6323$), profundidade ($p = 0,1599$) e de interação ($p = 0,4477$) para o Na. Houve efeito de tratamento para os atributos K ($p = 0,0006$) e COS ($p = 0,0402$), e de profundidade ($p < 0,0001$; Tabela 8).

O pH diferiu entre os tratamentos nas três profundidades (0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm). Com o aumento da profundidade do solo (0 a 5 para 5 a 10 cm), o pH diminuiu em todos os tratamentos que receberam calcário, e o tratamento CTRL não foi influenciado pelo aumento da profundidade. Para CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK houve redução no pH da profundidade de 5 a 10 cm para a maior profundidade (10 a 20 cm).

Os valores de pH foram similares para os tratamentos mais intensivos com a *U. decumbens* (CAL+P e CAL+NPK) nas três profundidades, com diminuição dos valores de pH em função do aumento da profundidade. Na camada de menor profundidade (0 a 5 cm), foram verificados maiores valores de pH para CAL+P e CAL+NPK do que para o tratamento que recebeu apenas calcário (CAL), evidenciando que com o aumento da intensificação (com aplicação de NPK) o efeito da aplicação de calcário é mais pronunciado na menor profundidade (0 a 5 cm), e com o aumento da profundidade (5 a 10 e 10 a 20 cm) o pH dos tratamentos mais intensificados (CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK) decrescem de maneira similar.

Na maior profundidade (10 a 20 cm), não houve diferença de pH entre os tratamentos mais intensificados (CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK). De modo geral, a diferença de pH foi maior entre o tratamento que não recebeu calcário (CTRL) comparado àquele de maior nível de intensificação (QCAL+NPK) (Tabela 7).

Tabela 7. Atributos químicos do solo, nas profundidades 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, em função dos tratamentos para recuperação ou renovação de pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk.

Tratamento	pH	Ca	Mg	Al	H+Al	S	t	m	V	P
	H ₂ O	cmol _c dm ⁻³							%	mg dm ⁻³
0 a 5 cm										
CTRL	4,5Da	0,4Da	0,2Ca	1,0Ab	7,3Aa	0,7Da	1,7Da	59,9Ac	8Da	4CDa
CAL	5,1Ca	1,5Ca	0,5Ba	0,3Bc	5,6Ba	2,1Ca	2,4Ca	10,9Bc	28Ca	3Da
CAL+P	5,6Ba	2,1Ba	0,7Aa	0,1BCc	4,2CDb	2,9Ba	3,0Ba	4,6BCc	43Ba	5BCa
CAL+NPK	5,6Ba	2,3Ba	0,6Aa	0,1Cc	4,9BCb	3,2Ba	3,2Ba	2,7Cc	39Ba	6Aa
QCAL+NPK	5,9Aa	2,9Aa	0,7Aa	0,0Cc	3,5Db	3,8Aa	3,8Aa	0,65Cc	52Aa	6ABa
5 a 10 cm										
CTRL	4,4Ca	0,2Ca	0,1Cb	1,2Aa	7,3Aa	0,3Dab	1,47Ca	78,26Ab	4Ca	2Ab
CAL	4,7BCb	0,6Bb	0,2Bb	1,0Bb	6,5ABa	0,8Cb	1,8BCb	52,95Bb	11BCb	2Aa
CAL+P	4,9Bb	0,8Bb	0,2Bb	0,6Cb	6,1Ba	1,1BCb	1,7BCb	35,22Cb	15Bb	2Ab
CAL+NPK	4,8Bb	0,9Bb	0,3Bb	0,7Cb	6,5ABa	1,3Bb	2,0Bb	33,10Cb	17Bb	2Ab
QCAL+NPK	5,4Ab	1,8Ab	0,4Ab	0,2Db	4,7Ca	2,3Ab	2,4Ab	7,75Db	33Ab	2Ab
10 a 20 cm										
CTRL	4,4Ca	0,1Ba	0,0Bb	1,2Aa	6,3Aa	0,2Bb	1,4Aa	85,05Aa	3Ba	1Ab
CAL	4,5BCb	0,3ABb	0,1ABc	1,1ABa	6,6Aa	0,4ABc	1,5Ab	73,23Ba	6ABb	2Aa
CAL+P	4,6ABc	0,3ABc	0,1ABc	0,9Ca	5,9Aa	0,5ABc	1,4Ab	65,85BCa	7ABb	1Ab
CAL+NPK	4,5ABCc	0,4ABc	0,1ABc	1,0BCa	6,1Aa	0,5ABc	1,5Ac	63,80Ca	8ABc	2Ab
QCAL+NPK	4,7Ac	0,6Ac	0,1Ac	0,7Da	5,6Aa	0,8Ac	1,5Ac	45,93Da	13Ac	1Ab
EPM	0,0652	0,1161	0,2964	0,0540	0,1632	0,1500	0,1014	2,9511	2,0974	0,2343
TRAT	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0009	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0402
PROF	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
TRATxPROF	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0049	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,0001	0,0155

S: soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca catiônica efetiva; V: índice de saturação de bases; m: índice de saturação de alumínio. Médias seguidas por letras maiúsculas comparam os tratamentos dentro de cada profundidade. Médias seguidas por letras minúsculas comparam o tratamento nas profundidades. Teste LSD ($p < 0,05$). EPM: erro padrão da média, TRAT: tratamento, PROF: profundidade, TRATxPROF: Efeito de interação entre tratamento e profundidade. CTRL: *U. decumbens* cv. Basilisk sem calagem e adubação; CAL: *U. decumbens* cv. Basilisk e calagem de manutenção; CAL+P: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação fosfatada de manutenção; CAL+NPK: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação com NPK; QCAL+NPK: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e adubação com NPK.

Tabela 8. Capacidade de troca catiônica em pH 7,0 (T), potássio (K) e carbono orgânico do solo (COS) em função dos tratamentos e/ou das profundidades 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm, para recuperação ou renovação de pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk.

Variável	Tratamento					EPM	Valor <i>p</i>
	CTRL	CAL	CAL+P	CAL+NPK	QCAL+NPK		
K (mg dm ⁻³)	32c	28c	36b	53a	50ab	3,702	0,0006
COS (g kg ⁻¹)	18,31b	17,79b	17,92b	20,93a	17,19b	0,719	0,0402

Variável	Profundidade do solo (cm)			EPM	Valor <i>p</i>
	0 a 5	5 a 10	10 a 20		
T (cmol _c dm ⁻³)	7,6a	7,4a	6,6b	0,163	<0,0001
K (mg dm ⁻³)	60a	35b	23c	2,326	<0,0001
COS (g kg ⁻¹)	21,19a	19,22b	15,23c	0,387	<0,0001

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$). EPM: erro padrão da média. CTRL: *U. decumbens* cv. Basilisk sem calagem e adubação; CAL: *U. decumbens* cv. Basilisk e calagem de manutenção; CAL+P: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação fosfatada de manutenção; CAL+NPK: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação com NPK; QCAL+NPK: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e adubação com NPK.

Os teores de Ca obtidos para o tratamento CTRL não foram influenciados pelo aumento da profundidade, de 0 a 5 para 10 a 20 cm. O tratamento com adição de calcário (CAL) obteve valores similares nas profundidades de 5 a 10 e 10 a 20 cm, diferindo dos teores de Ca obtidos na menor profundidade (0 a 5 cm). O teor de Ca diferiu entre as profundidades para todos os tratamentos com maior nível de intensificação (CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK), nos quais os maiores teores de Ca foram obtidos na menor profundidade (0 a 5 cm).

Na menor profundidade (0 a 5 cm), os maiores teores de Ca foram obtidos para os tratamentos CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK, e na profundidade de 5 a 10 o CAL, CAL+P e CAL+NPK obtiveram teores similares de Ca, e o tratamento QCAL+NPK foi superior aos demais. Nessa profundidade, todos os tratamentos com algum nível de intensificação diferiram do tratamento CTRL. De modo geral, na maior profundidade (10 a 20 cm), todos os tratamentos que receberam aplicação de calcário foram similares entre si e semelhantes ao tratamento CTRL. O tratamento QCAL+NPK foi superior ao tratamento CTRL nessa profundidade em 0,5 cmol_c dm⁻³, e o CAL+NPK foi superior em 0,3 cmol_c dm⁻³ em relação ao tratamento sem nenhuma estratégia de recuperação ou renovação (CTRL).

O teor de Mg diferiu nas três profundidades ($p < 0,0001$), com os maiores valores verificados de 0 a 5 cm em relação às demais profundidades, com exceção do CTRL, no qual houve similaridade destes teores nas maiores profundidades (5 a 10 e 10 a 20 cm). Na camada de 0 a 5 cm, os tratamentos CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK foram similares entre si e na maior profundidade (10 a 20 cm) os tratamentos CAL, CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK também foram similares entre si. Já na profundidade de 5 a 10 cm, o QCAL+NPK foi superior ($p < 0,0001$) aos demais tratamentos, apresentando o maior teor, seguido por CAL, CAL+P, CAL+NPK (tratamentos similares entre si). Nesta profundidade (5 a 10 cm), todos os tratamentos com alguma estratégia de recuperação foram superiores no teor de Mg, e diferiram do tratamento CTRL. Na maior profundidade (10 a 20 cm), somente o tratamento mais intensificado foi diferente do tratamento CTRL.

Não houve efeito de tratamento ($p=0,6323$), profundidade ($p=0,1599$) e de interação ($p=0,4477$) para o teor de Na no solo. A média geral desta variável foi de $0,01 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

O teor de Al diferiu nas três profundidades avaliadas ($p<0,0001$) para CAL, CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK. Os menores teores de Al foram registrados para o tratamento mais intensificado (QCAL+NPK) nas profundidades de 5 a 10 e 10 a 20 cm, em relação aos demais tratamentos. A calagem reduziu o teor de Al de todos os tratamentos em relação ao tratamento sem adição de calcário (CTRL) nas 3 profundidades, com efeito mais expressivo nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm. De 0 a 5 cm, foram obtidos os menores valores de Al para os tratamentos mais intensificados (CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK), que foram similares. Na maior profundidade (10 a 20 cm) o teor de Al do tratamento CTRL foi similar ao tratamento CAL, e nas maiores profundidades (5 a 10 e 10 a 20) foram obtidos os maiores teores de Al para o tratamento CTRL.

A interação entre tratamento e profundidade ($p<0,0001$) para a saturação por alumínio (m) ocorreu devido aos menores valores obtidos nos tratamentos mais intensificados (CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK) em todas as profundidades avaliadas. A m aumentou com a profundidade em todos os tratamentos, com os maiores valores obtidos no tratamento sem adição de calcário (CTRL). Houve semelhança entre CAL+P e CAL+NPK nas três profundidades, que foram maiores do que o QCAL+NPK nas menores profundidades (5 a 10 e 10 a 20 cm). Menores valores de m foram verificados em todas as profundidades para o QCAL+NPK, com semelhança para o CAL+NPK na menor profundidade (0 a 5 cm).

Não foram observadas diferenças para a acidez potencial (H+Al) entre CTRL e CAL nas três profundidades avaliadas, sendo seus valores mais elevados que nos demais tratamentos. Nas menores profundidades, os menores valores de H+Al foram verificados para o QCAL+NPK, em relação aos demais tratamentos, com semelhança ao CAL+P na profundidade de 0 a 5 cm. O efeito da intensificação foi mais pronunciado na camada mais superficial do solo (0 a 5 cm) e para os tratamentos com maior nível de intensificação, CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK.

Os valores da S diferiram entre as três profundidades avaliadas para todos os tratamentos ($p<0,0001$), com exceção do tratamento CTRL, que houve diferença significativa da menor (0 a 5 cm) para a maior (10 a 20cm) profundidade do solo. Com o aumento da profundidade, ocorreu a diminuição da S, com maior redução para o QCAL+NPK, de $3,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na profundidade 0 a 5 cm para $0,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na profundidade de 10 a 20 cm.

Não houve efeito de tratamento ($p=0,3642$) e de interação entre tratamento e profundidade ($p=0,7866$) para a capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (T), entretanto, o aumento da profundidade influenciou esta variável ($p<0,0001$), com menores valores de 10 a 20 cm em relação às demais profundidades avaliadas.

Menor capacidade de troca catiônica efetiva (t) foi verificada na menor profundidade (0 a 5) no tratamento CTRL em relação aos demais tratamentos, e na profundidade de 5 a 10 cm a maior t foi obtida para o tratamento mais intensificado (QCAL+NPK). Na maior profundidade (10 a 20 cm) independente do processo de recuperação ou renovação utilizado, não houve diferença entre todos os tratamentos. O valor de t não apresentou diferença entre as profundidades avaliadas para o tratamento CTRL, e para o tratamento mais intensificado (QCAL+NPK), houve redução no teor de t com o aumento da profundidade, com redução de $3,8 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ da menor para maior profundidade.

Os valores de V obtidos no tratamento CTRL não foram influenciados pelo aumento da profundidade. A utilização do calcário promoveu efeito positivo sobre essa variável, sendo mais pronunciada na menor profundidade do solo (0 a 5 cm), na qual os valores de V do CAL (28%), CAL+P (43%), CAL+NPK (39%) e QCAL+NPK (52%) foram superiores àqueles obtidos no tratamento CTRL (8%).

Somente houve diferença de V entre CAL e CAL+P na profundidade de 0 a 5 cm, na qual o CAL+P foi superior ao CAL; e houve redução do V em maiores profundidades para ambos os tratamentos. Nas profundidades de 5 a 10 e 10 a 20 cm houve similaridade entre CAL, CAL+P e CAL+NPK. Os valores de V diminuíram com o aumento da profundidade, de 39% de 0 a 5 cm para 8% na profundidade de 10 a 20 cm no CAL+NPK. A dose de calcário utilizada para o capim BRS Quênia (de 5,77 t ha⁻¹) no QCAL+NPK contribuiu para os valores de V mais elevado na profundidade de 0 a 5 cm quando comparado aos demais tratamentos com calagem.

O teor de P no solo diminuiu significativamente com o aumento da profundidade para os tratamentos CTRL, CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK, de 0 a 5 cm para as profundidades de 5 a 10 e 10 a 20 cm, com semelhança entre estas duas últimas. Conforme esperado, na profundidade de 0 a 5 cm, os tratamentos CTRL e CAL apresentaram os menores teores de P e foram similares entre si, já que não receberam adubação fosfatada. Nesta mesma profundidade, os tratamentos mais intensificados (CAL+NPK e QCAL+NPK) obtiveram os maiores teores de P, apresentando similaridades entre si, já que estes tratamentos receberam adubação fosfatada. Não houve diferença entre tratamentos nas maiores profundidades do solo (de 5 a 10 e 10 a 20 cm).

Os teores de K no solo foram influenciados pelos tratamentos utilizados ($p=0,0006$), com maiores teores obtidos nos tratamentos mais intensificados (53 mg dm⁻³ para o CAL+NPK e 50 mg dm⁻³ QCAL+NPK) e menores naqueles de menor intensificação (36 mg dm⁻³ CTRL e 28 mg dm⁻³ CAL). O teor de K foi influenciado pelo aumento da profundidade do solo, no qual os maiores teores de K foram obtidos na profundidade de 0 a 5 cm com redução de 60 mg dm⁻³ para 23 mg dm⁻³ com o aumento da profundidade, indicando que, com o aumento da profundidade, ocorre diminuição no teor desta variável no solo.

O teor de COS foi alterado de acordo com o tratamento utilizado ($p=0,0402$) e pelo aumento profundidade do solo ($p<0,0001$). O tratamento mais intensificado com *U. decumbens* cv Basilisk apresentou o maior teor de COS (20,93 g kg⁻¹), enquanto que os demais tratamentos foram similares entre si. Com o aumento da profundidade do solo, houve redução do COS de 21,19 g kg⁻¹ na profundidade de 0 a 5 cm para 15,23 g kg⁻¹ na profundidade de 10 a 20 cm.

4.2 Atributos Físicos do Solo

4.2.1 Densidade do solo, de partículas e porosidade total do solo

A DS, DP e a PT não foram influenciadas pelos tratamentos ($p>0,05$), e com o aumento da profundidade, somente a DS e a PT foram influenciadas ($p<0,0001$). Não houve efeito de interação entre tratamento e profundidade para DS ($p=0,4664$), DP ($p=0,4863$) e PT ($p=0,1337$), com pequenas variações em profundidade. Os menores valores de DS foram verificados na profundidade de 20 a 40 cm. A DP não variou em profundidade. Os maiores valores de PT foram obtidos na profundidade de 20 a 40 cm (Tabela 9).

Tabela 9. Densidade do solo (DS), densidade das partículas (DP) e porosidade total (PT) nas profundidades de 0 a 5, 5 a 10, 10 a 20 e 20 a 40 cm.

Variável	Profundidade (cm)				EPM	Valor <i>p</i>
	0 a 5	5 a 10	10 a 20	20 a 40		
DS (Mg m ⁻³)	1,25b	1,29a	1,27ab	1,12c	0,015	<0,0001
DP (Mg m ⁻³)	2,58	2,58	2,59	2,61	0,016	0,0807
PT (%)	51,58b	49,78c	50,82bc	57,12a	0,511	<0,0001

Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste LSD ($p<0,05$). EPM: erro padrão da média.

4.2.2 Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade dos agregados (IEA)

Não houve efeito de tratamento para DMP ($p=0,5351$) e DMG ($p=0,4140$). Entretanto, o DMP foi influenciado pela profundidade ($p=0,0208$), com maiores valores obtidos na menor profundidade (4,81 na profundidade de 0 a 10 cm e 4,70 na profundidade de 10 a 20 cm). O DMG também foi maior de 0 a 10 cm em relação à maior profundidade do solo (10 a 20 cm) ($p=0,0207$), com aumento médio de 4,86%. O IEA não foi influenciado pelos tratamentos ($p=0,4731$) ou pelas profundidades ($p=0,2278$; Tabela 10).

Tabela 10. Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de estabilidade dos agregados (IEA) do solo em função das profundidades de 0 a 10 e 10 a 20 cm para recuperação e renovação de pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk.

Variável	Profundidade (cm)		EPM	Valor p
	0 a 10	10 a 20		
DMP (mm)	4,81a	4,70b	0,030	0,0208
DMG (mm)	4,55a	4,33b	0,061	0,0207
IEA (%)	99,63	98,74	0,497	0,2278

Médias seguidas de mesma minúscula não diferem entre si pelo teste LSD ($p<0,05$). EPM: erro padrão da média. Interação entre tratamento x profundidade para DMP ($p=0,4562$), DMG ($p=0,4078$) e IEA ($p=0,4713$).

4.2.3 Macro e microporosidade e porosidade total do solo

Não houve efeito de tratamento para microporosidade ($p=0,8675$), microporosidade ($p=0,4703$) e porosidade total ($p=0,8634$). A microporosidade, microporosidade e porosidade total média, foram, respectivamente, de 22,56, 36,51 e 59,07% (Tabela 11).

Tabela 11. Macro e microporosidade e porosidade total do solo (%) para recuperação e renovação de pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk.

Variável (%)	Média	EPM	Valor p
Macroporosidade	22,56	2,902	0,8675
Microporosidade	36,51	1,752	0,4703
Porosidade total	59,07	1,382	0,8634

EPM: erro padrão da média. CTRL: *U. decumbens* cv. Basilisk sem calagem e adubação; CAL: *U. decumbens* cv. Basilisk e calagem de manutenção; CAL+P: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação fosfatada de manutenção; CAL+NPK: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação com NPK; QCAL+NPK: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e adubação com NPK.

4.2.4 Resistência do solo a penetração

Não houve efeito de tratamento para a resistência do solo à penetração (RSP) ($p=0,0583$). A RSP foi influenciada pela profundidade ($p<0,0001$). Maiores valores de RSP foram verificados de 15 a 20 cm e menores de 0 a 5 cm (6,309 e 0,916 Mpa, respectivamente). Houve similaridade da RSP nas profundidades de 5 a 10, 30 a 35 e de 35 a 40 cm. Os valores de RSP também foram similares nas profundidades de 10 a 15, 20 a 25 e 25 a 30 cm (Tabela 12).

Tabela 12. Resistência do solo à penetração nas profundidades de 0 a 40 cm para recuperação e renovação de pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk.

Variável	Profundidade (cm)								EPM	Valor <i>p</i>
	0 a 5	5 a 10	10 a 15	15 a 20	20 a 25	25 a 30	30 a 35	35 a 40		
RSP (Mpa)	0,92d	4,33c	5,73b	6,31a	5,78b	5,46b	4,35c	4,25c	0,551	<0,0001

Cada profundidade representa a média de 4 repetições. Médias seguidas de mesma letra minúscula não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$). EPM: erro padrão da média. CTRL: *U. decumbens* cv. Basilisk sem calagem e adubação; CAL: *U. decumbens* cv. Basilisk e calagem de manutenção; CAL+P: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação fosfatada de manutenção; CAL+NPK: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação com NPK; QCAL+NPK: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e adubação com NPK. Interação tratamento x profundidade ($p = 0,8460$).

Maior resistência à penetração no solo foi observada próximo a profundidade de 20 cm para todos os tratamentos (Figura 10).

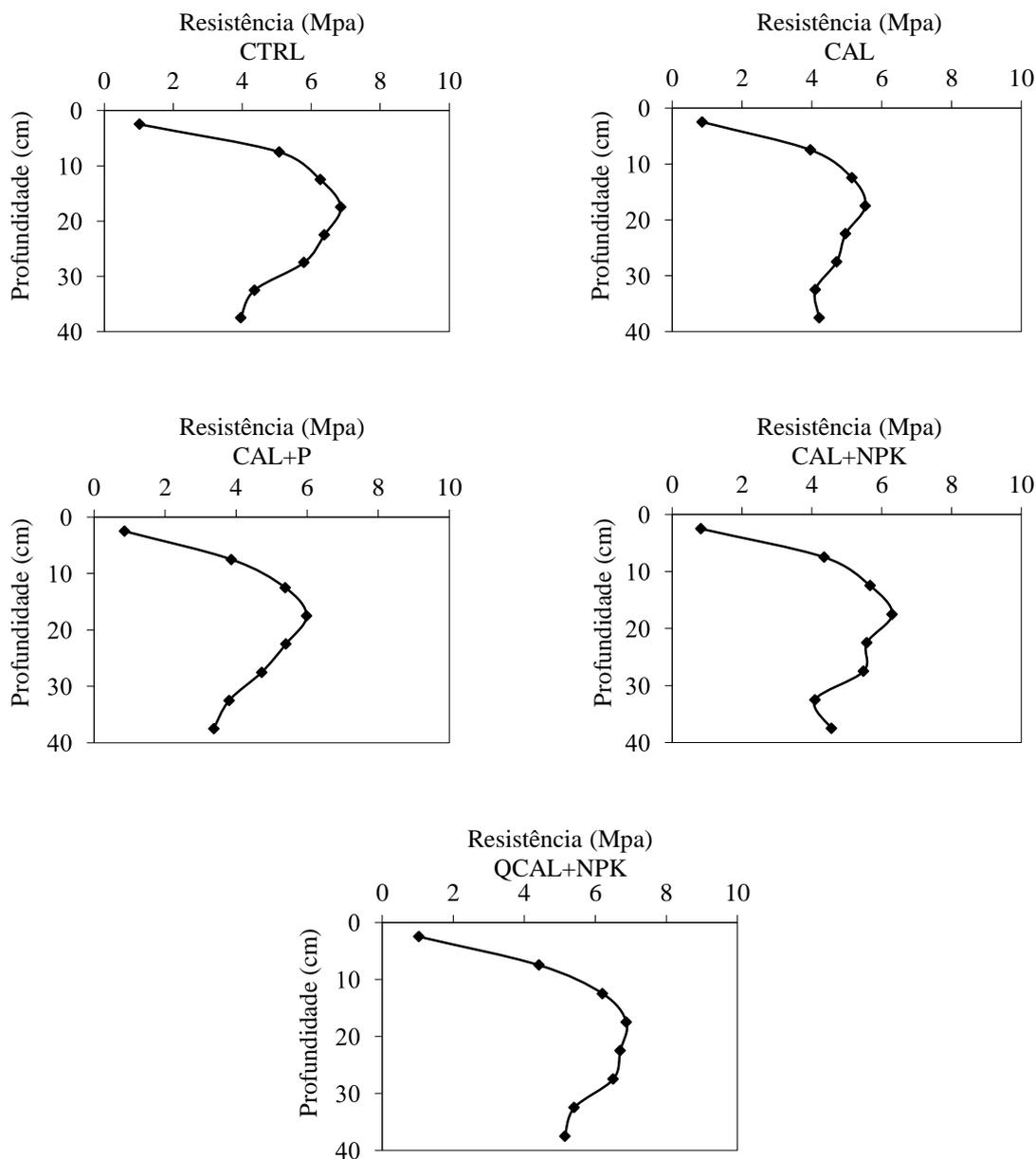


Figura 10. Curvas de resistência do solo à penetração em função dos tratamentos. CTRL: *U. decumbens* cv. Basilisk sem calagem e adubação; CAL: *U. decumbens* cv. Basilisk e calagem de manutenção; CAL+P: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação fosfatada de manutenção; CAL+NPK: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação com NPK; QCAL+NPK: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e adubação com NPK.

4.2.5 Teor volumétrico de água no solo

Houve efeito de interação entre tratamento e estação do ano ($p < 0,0001$) para o teor volumétrico de água de solo (TVAS). Os teores volumétricos de água do solo variaram em função dos regimes de precipitação ocorridos nas estações do ano. Maiores valores desta variável foram obtidos para CTRL e CAL+P (com similaridade entre si) no Verão 1, e também para CAL+P e CAL+NPK no outono 1, enquanto que na primavera 1 os maiores valores foram

verificados para o CAL+P e QCAL+NPK (com similaridade entre si). Já no verão 2 e outono 2 os menores TVAS foram verificados para CAL+NPK e CTRL, respectivamente, concomitante ao maior teor para o CAL no outono 2 (Tabela 13).

Tabela 13. Teor volumétrico de água no solo (%) em função dos tratamentos durante as estações do ano.

Estação	Tratamentos					EPM	Valor <i>p</i>
	CTRL	CAL	CAL+P	CAL+NPK	QCAL+NPK		
Teor volumétrico de água no solo (%)							
Verão 1	26,9Aa	21,4Ca	27,7Aa	23,0Ba	24,6Ba	0,5121	<0,0001
Outono 1	13,2Cd	13,6BCc	15,2ABd	15,9Ac	14,1ABCd	0,7289	
Primavera 1	14,9Bc	14,9Bc	17,2Ac	15,4Bc	17,4Ac	0,4209	
Verão 2	18,8ABb	19,1Ab	18,8ABb	17,9Bb	18,9Ab	0,4617	
Outono 2	13,0Cd	14,8Ac	13,8BCd	13,7BCd	14,0Bd	0,3862	
EPM	0,5121	0,7289	0,4209	0,4617	0,3862		
Valor <i>p</i>	0,0160						
Fator de correção ¹							
	12,0	14,0	14,0	12,6	13,1	0,4143	0,9957
Umidade do solo (0 a 40 cm) ²							
	26,10	26,85	25,66	26,03	25,47		
Umidade do solo (0 a 10 cm) ²							
	15,91	13,10	12,39	11,79	12,53		

Médias 4 repetições. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$). EPM: erro padrão da média CTRL: *U. decumbens* cv. Basilisk sem calagem e adubação; CAL: *U. decumbens* cv. Basilisk e calagem de manutenção; CAL+P: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação fosfatada de manutenção; CAL+NPK: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação com NPK; QCAL+NPK: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e adubação com NPK. Efeito de interação tratamento x estação ($p < 0,0001$). ¹Relação entre umidade do solo pela análise gravimétrica e da sonda; ²Amostras coletadas em 28/06/2021.

Nas estações em que houve maior precipitação pluviométrica (verão 1 e 2), foram observados os maiores teores volumétricos de água no solo.

No verão 1 e 2 foram obtidos maiores TVAS em todos os tratamentos; para CTRL, CAL+P e QCAL+NPK foram obtidos os menores TVAS no outono 1 e 2, com semelhança entre si. Para o CAL os menores TVAS foram obtidos no outono 1, primavera 1 e outono 2, com semelhança entre si nestas estações. Já para CAL+NPK, o menor TVAS foi obtido no outono 2; enquanto que no outono 1 e primavera 1 houve semelhança de TVAS.

4.3 Variáveis da Forragem

Houve efeito de interação entre tratamento e estação do ano ($p < 0,0001$) para as variáveis massa de forragem total acumulada, porcentagens de folhas, colmos, material morto, plantas daninhas, como também para a taxa de acúmulo de forragem.

4.3.1 Massa de forragem, composição botânica e morfológica, relação folha: colmo e acúmulo de forragem

Maiores massas de forragem total acumulada foram verificadas para o QCAL+NPK no verão 1 e 2 e primavera 1, e para o CAL+NPK no outono 1 com semelhança na primavera 1 e verão 2. Já para o CAL+P o maior valor dessa variável foi obtido na primavera 1 (Tabela 14).

Tabela 14. Massa de forragem total acumulada no estrato pastejável (kg ha^{-1} de massa seca) dos tratamentos durante as estações do ano.

Estações	Tratamentos					EPM	Valor p
	CTRL	CAL	CAL+P	CAL+NPK	QCAL+NPK		
Verão 1	855Bb	1112BCb	1176CDb	1578Cb	3549Ba	244,8	
Outono 1	1494Ab	1446ABb	1872Bb	3140ABa	2820Ca	170,0	
Primavera 1	1908Ad	1639ABd	2596Ac	3469Ab	6387Aa	401,1	<0,0001
Verão 2	1613Ab	1827Ab	1743BCb	2892Ba	3268Ba	164,1	
Outono 2	787Bb	871Cb	911Db	1850Ca	1691Da	110,6	
EPM	110,4	110,9	144,0	186,2	367,0		
Valor p	<0,0001						

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$). EPM: erro padrão da média. CTRL: *U. decumbens* cv. Basilisk sem calagem e adubação; CAL: *U. decumbens* cv. Basilisk e calagem de manutenção; CAL+P: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação fosfatada de manutenção; CAL+NPK: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação com NPK; QCAL+NPK: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e adubação com NPK. Interação tratamento x estação ($p < 0,0001$).

De maneira geral, maiores massas de forragem totais acumuladas ocorreram na primavera 1 para todos os tratamentos. Nos tratamentos CTRL e CAL houve semelhança entre os valores da primavera 1 com o outono 1 e verão 2, enquanto no tratamento CAL o valor do outono 1 também se igualou à primavera 1.

Maior massa de forragem total acumulada foi observada para QCAL+NPK e CAL+NPK nas estações outono 1, verão 2 e outono 2 (superioridade média de 1.376, 1.352 e 913 kg ha^{-1} , respectivamente), além de superioridade de 2.368 e 3.984 kg ha^{-1} para o QCAL+NPK, em relação aos demais tratamentos, nas estações verão 1 e primavera 1, respectivamente.

Maior percentual de folhas (PF) na massa de forragem total acumulada foi verificada no QCAL+NPK em todas as estações, com semelhança ao CAL+P durante o verão 1 (Tabela 15). Entre os tratamentos com *U. decumbens*, de forma geral, maiores PF ocorreram no CAL+NPK e CAL+P. Houve semelhança das PF entre todas as estações no QCAL+NPK e CAL+NPK, exceto durante o outono 1, no qual foi registrado menor valor de PF no CAL+NPK. No outono 2 houve menor participação de folha na massa de forragem no CTRL, CAL e CAL+P.

Menores percentuais de colmos (PC) e de material morto (PMM) na massa de forragem total acumulada ocorreram no QCAL+NPK (Tabela 15). Entre os tratamentos com *U. decumbens* os maiores PC foram registrados para o CAL+NPK, com semelhança ao CTRL, CAL e CAL+P durante o verão 2 e outono 2, enquanto para a PMM não houve um padrão

definido entre tratamentos. Não houve variação da PC entre estações para QCAL+NPK e CAL+NPK, enquanto para os demais tratamentos com *U. decumbens* (CTRL, CAL e CAL+P) menores valores foram obtidos no verão 1 e maiores no outono 2. Padrão semelhante àquele da PC também ocorreu para a PMM em relação às estações, exceto no CAL+NPK, no qual foi encontrado o menor valor durante o verão 1 em relação às demais estações.

De forma geral, os menores percentuais de plantas daninhas (PPD) foram verificados para o QCAL+NPK, e os maiores para os tratamentos CTRL, CAL, CAL+P e CAL+NPK em todas as estações, porém com semelhanças entre o QCAL+NPK com os tratamentos CTRL, CAL+P e CAL+NPK no verão 1 e outono 1, com os tratamentos CAL+P e CAL+NPK na primavera 1, com os tratamentos CTRL e CAL+NPK no verão 2 e com os tratamentos CTRL, CAL+P e CAL+NPK no outono 2 (Tabela 15).

Maior relação folha: colmo foi obtida no QCAL+NPK do que nos demais tratamentos com *U. decumbens* (8,33 vezes maior, em média), em todas as estações avaliadas (Tabela 15). Todos os tratamentos com *U. decumbens* não alteraram sua relação folha: colmo durante as estações avaliadas. Somente houve diferença entre estações no tratamento com maior nível de intensificação (QCAL+NPK), com menores valores no verão 1, e maior no outono 1 e primavera 1 (Tabela 15).

Tabela 15. Percentuais de folha, colmo, material morto e de plantas daninhas na massa de forragem total acumulada do estrato pastajável dos tratamentos durante as estações do ano.

Estações	Tratamentos					EPM	Valor <i>p</i>
	Folha (%)						
	CTRL	CAL	CAL+P	CAL+NPK	QCAL+NPK		
Verão 1	59,2Abc	51,5Ac	70,5Aab	52,2Ac	86,1Aa	3,78	
Outono 1	26,4Bbc	20,2Bc	34,2Db	33,0Bb	90,1Aa	5,90	
Primavera 1	51,3Ab	41,0Ac	52,9Bb	52,3Ab	90,2Aa	4,05	<0,0001
Verão 2	52,4Abc	41,3Ac	46,7BCbc	53,2Ab	88,6Aa	4,10	
Outono 2	31,4Bd	26,5Bd	42,9Cc	54,7Ab	84,9Aa	4,96	
EPM	3,29	3,48	3,07	2,26	1,21		
Valor <i>p</i>	<0,0001						
	Colmo (%)						
Verão 1	19,2ABb	17,8ABa	23,8ABb	28,9ABa	12,0ABa	1,88	
Outono 1	38,2Bb	31,6Ba	48,5Bb	40,0Ba	5,9Ba	4,33	
Primavera 1	23,6ABb	21,6ABa	26,1ABb	33,6ABa	5,4ABa	2,41	<0,0005
Verão 2	31,9Ab	36,9Aa	29,5Ab	33,7Aa	7,9Aa	2,62	
Outono 2	37,1Cb	29,4Ca	38,7Cb	32,3Ca	9,3Ca	3,14	
EPM	2,48	2,93	2,96	1,56	0,95		
Valor <i>p</i>	<0,0001						
	Material morto (%)						
Verão 1	6,0Ca	4,6Ca	1,8Bb	1,0Bb	1,2Ab	0,64	
Outono 1	22,9Aab	32,5Aa	14,6Abc	13,7Abc	3,2Ac	2,93	
Primavera 1	11,0Ba	11,6Ba	9,8Aab	6,4Aab	4,4Ab	0,96	<0,0001
Verão 2	7,9BCbc	11,3Bab	13,4Aa	6,7Abc	3,4Ac	1,00	
Outono 2	23,0Aab	29,7Aa	14,7Abc	10,0Ac	5,8Ac	2,55	
EPM	2,49	2,92	1,48	1,18	0,67		
Valor <i>p</i>	0,0003						
	Plantas daninhas (%)						
Verão 1	15,7ABab	26,1ABa	3,9ABb	18,1ABab	0,7Ab	3,85	
Outono 1	12,5ABab	15,7BCa	2,9Bab	13,4Aab	0,9Ab	2,38	
Primavera 1	14,2Aab	25,9Aa	11,2ABbc	7,7ABbc	0,0Ac	2,46	0,0069
Verão 2	7,8Bab	10,5Ca	10,5Aa	6,6ABab	0,1Ab	1,61	
Outono 2	8,4ABab	14,4BCa	3,8ABab	3,0Bab	0,0Ab	2,01	
EPM	2,06	3,73	1,52	2,26	0,16		
Valor <i>p</i>	0,0318						
	Relação folha: colmo						
Verão 1	3,1Ab	2,9Ab	2,9Ab	1,8Ab	7,2Ca	0,54	
Outono 1	0,7Ab	0,6Ab	0,7Ab	0,8Ab	15,3Aa	1,54	<0,0001
Primavera 1	2,2Ab	1,9Ab	2,0Ab	1,5Ab	16,7Aa	1,58	
Verão 2	1,6Ab	1,1Ab	1,6Ab	1,6Ab	11,2Ba	0,96	
Outono 2	0,8Ab	0,9Ab	1,1Ab	1,7Ab	9,1ABa	1,94	
EPM	0,26	0,20	0,22	0,10	1,81		
Valor <i>p</i>	<0,0001						

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$). EPM: erro padrão da média. CTRL: *U. decumbens* cv. Basilisk sem calagem e adubação; CAL: *U. decumbens* cv. Basilisk e calagem de manutenção; CAL+P: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação fosfatada de manutenção; CAL+NPK: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação com NPK; QCAL+NPK: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e adubação com NPK. Interação tratamento x estação para Folha ($p < 0,0004$); Interação tratamento x estação para Colmo ($p = 0,0787$); Interação tratamento x estação para material morto ($p = 0,002$); Interação tratamento x estação para plantas daninhas ($p = 0,0249$).

Houve efeito de interação tratamento e estação ($p < 0,0001$) para a taxa de acúmulo de forragem, na qual os maiores valores foram verificados para o QCAL+NPK em todas as estações avaliadas (com semelhança ao CAL+NPK no verão 2), exceto no outono 2 quando esta foi maior para o CAL+NPK (Tabela 16).

Tabela 16. Taxa de acúmulo de forragem no estrato pastejável ($\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de massa seca) dos tratamentos durante as estações do ano.

Estações	Tratamentos					EPM	Valor p
	CTRL	CAL	CAL+P	CAL+NPK	QCAL+NPK		
Verão 1	19,9ABb	28,5ABb	30,2BCb	40,5Cb	181,6Ba	14,54	
Outono 1	29,3Ac	28,4ABc	36,7Bc	61,6Cb	148,2Ca	10,57	
Primavera 1	41,4Ad	34,2Ad	68,0Ac	112,9Ab	270,6Aa	20,09	<0,0001
Verão 2	35,2Ac	40,2Ac	60,2Ab	120,9Aa	115,6Da	8,64	
Outono 2	15,7Bc	17,4Bc	20,2Cc	73,8Ba	45,7Eb	5,23	
EPM	2,39	2,43	4,44	7,37	17,52		
Valor p			<0,0001				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$). EPM: erro padrão da média. CTRL: *U. decumbens* cv. Basilisk sem calagem e adubação; CAL: *U. decumbens* cv. Basilisk e calagem de manutenção; CAL+P: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação fosfatada de manutenção; CAL+NPK: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação com NPK; QCAL+NPK: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e adubação com NPK. Interação tratamento x estação ($p < 0,0001$).

Os tratamentos com maior intensificação (CAL+NPK e QCAL+NPK) obtiveram as maiores taxas de acúmulo de forragem (TAF) em todas as estações avaliadas, exceto no verão 1, no qual o CAL+NPK foi semelhante aos demais tratamentos com *U. decumbens*. A primavera 1 foi a estação que apresentou a maior TAF para o QCAL+NPK, CAL+NPK (similar ao verão 2), CAL+P (similar ao verão 2), CAL e CTRL (similar as demais estações, exceto no outono 2).

Os tratamentos com menor intensificação (CTRL e CAL) obtiveram as menores TAF em todas as estações avaliadas, com exceção do verão 1 que apresentam semelhanças com o CAL+P e CAL+NPK, e no outono 1 e 2 apresentam semelhanças com o CAL+P.

O QCAL+NPK obteve as maiores TAF na primavera 1, verão 1 e outono 1, e o CAL+NPK obteve as maiores TAF nas estações de primavera 1 e verão 2 (estações com semelhança entre si) e outono 2. O CAL+P obteve a maior TAF na primavera 1 e verão 2 (Tabela 16).

4.3.2 Valor nutritivo da forragem

Houve efeito de interação entre tratamento e estação do ano para as variáveis FDN, PB e DIVMS ($p < 0,0001$) (Tabela 17).

Tabela 17. Concentrações de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), proteína bruta (PB) e de digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) da forragem no estrato pastejável dos tratamentos durante as estações do ano.

Estações	Tratamentos					EPM	Valor <i>p</i>
	CTRL	CAL	CAL+P	CAL+NPK	QCAL+NPK		
FDN (g kg ⁻¹)							
Verão 1	609Cb	631Bb	618BCb	622BCb	690Aa	11,1	
Outono 1	656Bb	65,7Bb	648ABb	675Aab	693Aa	11,1	
Primavera 1	603Cc	589Cc	600Cc	640Bb	702Aa	11,1	<0,0001
Verão 2	644Bb	626Bbc	640ABb	608Cc	711Aa	11,1	
Outono 2	689Aa	709Aa	652Ab	629BCb	699Aa	11,1	
EPM	11,1	11,1	11,1	11,1	11,1		
Valor <i>p</i>							<0,0001
PB (g kg ⁻¹)							
Verão 1	128Ab	124ABb	117Ab	129Ab	172Aa	8,8	
Outono 1	80Cb	88Db	72Cb	72Bb	149Ba	5,9	
Primavera 1	127Aa	141Aa	127Aa	147Aa	142Ba	8,2	<0,0001
Verão 2	104Bbc	108BCb	91Bc	132Aa	114Cb	4,8	
Outono 2	92BCb	97CDb	80BCb	121Aa	8,5Db	7,8	
EPM	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1		
Valor <i>p</i>							0,0003
DIVMS (g kg ⁻¹)							
Verão 1	751Aab	716Abc	671BCc	672ABc	786Aa	16,2	
Outono 1	702Bbc	655Bc	745Aab	687ABc	791Aa	16,6	
Primavera 1	681Bab	656Bb	700Bab	671ABab	729Ba	11,6	<0,0001
Verão 2	586Cc	619BCbc	684Ba	662Bab	666Cab	20,8	
Outono 2	627Cc	59,0Cc	640Cbc	714Aa	698BCab	21,8	
EPM	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4		
Valor <i>p</i>							0,0478

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste LSD ($p < 0,05$). EPM: erro padrão da média. DIVMS: Digestibilidade *in vitro* da matéria seca, FDN: Fibra em detergente neutro, PB: Proteína Bruta CTRL: *U. decumbens* cv. Basilisk sem calagem e adubação; CAL: *U. decumbens* cv. Basilisk e calagem de manutenção; CAL+P: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação fosfatada de manutenção; CAL+NPK: *U. decumbens* cv. Basilisk, calagem e adubação com NPK; QCAL+NPK: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e adubação com NPK. Efeito de interação tratamento x estação ($p < 0,0001$) para DIVMS. Efeito de interação tratamento x estação para FDN ($p < 0,0001$). Efeito de interação tratamento x estação para PB ($p < 0,0001$).

Maiores teores de FDN foram obtidos para o tratamento QCAL+NPK em todas as estações, com semelhança ao CAL+NPK no outono 1, e ao CTRL e CAL no outono 2. No verão 1 e no outono 1, todos os tratamentos com *U. decumbens* não diferiram entre si para os teores de FDN.

Maiores concentrações de PB foram obtidas para o tratamento QCAL+NPK e semelhança entre os demais tratamentos nas estações verão 1 e outono 1. Houve semelhança entre todos os tratamentos na primavera 1. Já no verão 2 e outono 2, foram verificados os maiores valores de PB para o tratamento com maior nível de intensificação para recuperação da pastagem de *U. decumbens* (CAL+NPK) em relação aos demais.

No verão 1 maiores DIVMS foram obtidas para os tratamentos CTRL e QCAL+NPK, com semelhança entre si. Já no outono 1 as maiores DIVMS foram verificadas no QCAL+NPK e CAL+P, também semelhantes entre si. Maiores DIVMS foram observadas no verão 1 para CTRL e CAL, enquanto para o CAL+P maior DIVMS foi verificada no outono 1.

Na primavera 1, foram obtidas as menores DIVMS para todos os tratamentos com *U. decumbens* (CTRL, CAL, CAL+P, CAL+NPK), os quais foram semelhantes entre si. No verão 2, as menores DIVMS foram obtidas para os tratamentos menos intensificados (CTRL e CAL) e semelhantes entre si, e as maiores para os tratamentos mais intensificados (CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK), que também foram semelhantes entre si.

As DIVMS foram maiores e semelhantes entre si nas estações de verão 1 e outono 1 para o QCAL+NPK, e nas estações de verão 2 e outono 2 foram menores e semelhantes entre si para este mesmo tratamento. Para o CAL+NPK, o maior valor de DIVMS foi obtido no outono 2, e menores e semelhantes entre si nas estações de verão 1, outono 1 primavera 1 e verão 2. Já para o CAL+P, o maior valor foi verificado no outono 1 e o menor no outono 2, enquanto para os tratamentos menos intensificados (CTRL e CAL) os maiores valores de DIVMS foram verificados no Verão 1, menores e intermediários no outono 1 e primavera 1, e os menores no verão 2 e outono 2.

5 DISCUSSÃO

5.1 Atributos Químicos do Solo

A calagem promoveu melhorias nos atributos químicos do solo, em relação ao CTRL, principalmente na superfície do solo (0 a 5 cm) e em menor intensidade nas profundidades de 5 a 10 e 10 a 20 cm. Entre os tratamentos, o que mais promoveu melhorias foi o QCAL+NPK, o que se justifica pelo fato de a dose aplicada neste tratamento ter sido de 5,77 t ha⁻¹, enquanto nos demais tratamentos com calagem a dose foi de 3,64 t ha⁻¹. Esta diferença das doses aplicadas está relacionada aos objetivos do estudo, sendo de recuperação da *Urochloa decumbens* cv Basilisk e renovação, com implantação do BRS Quênia. Este resultado mostra que doses maiores de calcário aplicadas em superfície promovem efeitos de maior magnitude em menor espaço de tempo. Tomando como referência os resultados verificados em termos de melhorias dos atributos químicos e da produtividade de forragem é possível afirmar que a dose de 5,77 t ha⁻¹ é mais indicada do que 3,64 t ha⁻¹.

De modo geral, os maiores valores de pH foram obtidos para o tratamento mais intensificado (QCAL+NPK) nas três profundidades, quando comparado aos demais tratamentos, enquanto os menores valores foram obtidos para o tratamento CTRL, também nas três profundidades avaliadas (Tabela 7). Foi possível constatar que mesmo o calcário sendo aplicado superficialmente, sem incorporação, houve uma elevação dos valores de pH nos tratamentos com calagem em detrimento ao CTRL que não recebeu calagem. Verifica-se que houve maior elevação (significativa) no QCAL+NPK em relação ao CAL, CAL+P e CAL+NPK, o que é decorrente das doses aplicadas, uma vez que estes últimos três tratamentos receberam dose de calcário para elevação de sua V para 40%, com aplicação de dose equivalente a 3,64 t ha⁻¹, enquanto para QCAL+NPK objetivou-se elevação à 60%, com dose equivalente a 5,77 t ha⁻¹.

Na maior profundidade do solo (10 a 20 cm), não houve diferença de pH entre os tratamentos mais intensificados (CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK) provavelmente devido à não incorporação do calcário no solo. Ainda assim, mesmo devido ao tempo de avaliação relativamente curto para efeitos mais evidentes (2 anos), foi possível observar que na maior profundidade os tratamentos CAL+P e QCAL+NPK que receberam calcário foram diferentes do CTRL.

Kaminski et al. (2005) avaliaram a eficiência da aplicação de calcário (superficial ou incorporada, nas doses de 0,0; 2,0; 8,5 e 17,0 t ha⁻¹ em um Argisolo com pastagem natural e encontraram alterações nos atributos químicos com a aplicação superficial de calcário, nos quais com o aumento da dose aplicada, a correção da acidez em profundidade é maior (até 25 cm profundidade), porém a maior eficiência ainda é da incorporação. Em razão disso, no presente estudo, os maiores efeitos da aplicação de calcário foram observados superficialmente. Os mesmos autores recomendam que quando os solos são muito ácidos e exigem doses de calcário da ordem de 10 t ha⁻¹, recomenda-se incorporar o calcário, mas, se o solo for pouco ácido e as doses necessárias inferiores a 5,5 t ha⁻¹, a calagem deve ser realizada superficialmente.

No presente estudo, a utilização de calcário promoveu um incremento no teor de Ca e Mg no solo, principalmente na menor profundidade (0 a 5 cm). Nesta profundidade, o aumento no teor de Ca (2,3 cmol_c dm⁻³) e Mg (0,6 cmol_c dm⁻³) obtido para o tratamento mais intensificado com *U. decumbens* cv Basilisk quando comparado com o tratamento CTRL (0,4 cmol_c dm⁻³ e 0,2 cmol_c dm⁻³ para Ca e Mg respectivamente), é superior a concentração mínima de Mg no solo para o bom desenvolvimento agrícola, que deve ser acima de 0,2 a 0,3 cmol_c dm⁻³ (EDMEADES, 2004).

No presente estudo, os teores de Mg obtidos para os tratamentos que utilizaram calcário com a *U. decumbens* foram superiores a $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, enquanto que para o QCAL+NPK verificou-se média superior a $0,7 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na menor profundidade e $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na profundidade de 5 a 10 cm. Isso demonstra que a utilização de calcário melhora a disponibilidade de Mg para as plantas através da redução da adsorção de cargas positivas, elevando a concentração de cátions trocáveis no solo (MIYAZAWA et al., 2001).

Esse efeito é mais pronunciado quando ocorre a maior adição de calcário ao solo, como obtido no tratamento QCAL+NPK, o qual a dose de $5,77 \text{ t ha}^{-1}$ mostrou-se mais efetivo na adição de Ca e Mg ao solo quando comparadas a dose utilizada nos tratamentos com *U. decumbens* cv. Basilisk (dose de $3,64 \text{ t ha}^{-1}$).

Cabe ressaltar que mesmo com a menor dose de calcário utilizada nos tratamentos com *U. decumbens* cv. Basilisk, associada com a adubação com NPK, esta mostrou-se altamente efetiva para o desenvolvimento da forrageira, contribuindo para o aumento da TAF, conforme observado na Tabela 16. O tratamento CTRL obteve TAF no estrato pastejável média de $28,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de massa seca, já para o tratamento CAL+NPK a TAF foi de $81,94 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ de massa seca, evidenciando que a adição de calcário, associada com a adubação com NPK promove efeitos positivos para o aumento da produção de forragem, mesmo aplicado superficialmente. De forma similar ao presente estudo, Costa et al. (2012a) observaram aumento do Ca e Mg em pastagens de *U. Brizantha* cv. Xaraés, com maior produção de forragem (2.457 kg ha^{-1} de massa seca) quando submetida à utilização de 3.087 kg ha^{-1} de calcário, em Latossolo Amarelo.

De modo geral, com o aumento da profundidade os maiores teores de Ca e Mg ocorreram para o tratamento QCAL+NPK em relação aos demais tratamentos, porém, devido à semelhança que apresentou com os demais tratamentos mais intensificados com a *U. decumbens* (CAL, CAL+P e CAL+NPK) na maior profundidade (10 a 20 cm), a adição de calcário pode exigir um maior tempo de ação ou maior dose para promover maior diferença entre os tratamentos nessa profundidade. Da mesma forma, Biazatti et al. (2020) testaram três doses de calcário (três, seis e doze toneladas ha^{-1}) em comparação ao tratamento testemunha (sem adição de calcário) e concluíram que os teores de Ca e Mg aumentaram com a adição de calcário na área, e o efeito foi mais significativo na profundidade de 0 a 10 em comparação àquela de 10 a 20 cm, assim como demonstrado no presente estudo, a aplicação de calcário na superfície aumentou o pH e os teores de Ca e Mg, principalmente nas menores profundidades.

Os valores obtidos para o sódio foram próximos a $0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, o que é um bom indicador de solos adequados para o desenvolvimento radicular de plantas, visto que a salinidade do solo afeta desde a germinação até o desenvolvimento vegetativo (SILVA et al., 2018d).

Com o aumento da profundidade (entre 0 e 20 cm) o teor de Al^{3+} aumentou, demonstrando o efeito mais pronunciado da calagem na menor profundidade (0 a 5 cm). Para o alumínio a aplicação de calcário superficial promoveu efeito na diminuição de seus teores em profundidade, com maior intensidade de 0 a 5 cm em relação àsquelas de 5 a 10 e 10 a 20 cm. Rodrigues et al. (2017) observaram que com o aumento do pH, que também foi observado no presente estudo, principalmente na camada mais superficial para os tratamentos mais intensificados, geralmente diminui a solubilidade do alumínio tóxico no solo. Além disso, os maiores teores de materiais orgânicos nessa profundidade causam a complexação deste elemento, contribuindo para a diminuição do alumínio nessa profundidade.

Semelhante ao presente estudo, Rheinheimer et al. (2000) avaliaram alterações nos atributos químicos do solo quando aplicado calcário superficial nas doses de 0,0; 2,0; 8,5 e $17,0 \text{ t ha}^{-1}$ em uma pastagem natural. Os autores também constataram, assim como no presente estudo, que o efeito da aplicação de calcário diminuiu o Al^{3+} trocável e elevou os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis, que resultou na diminuição do m. Segundo os autores, a aplicação superficial

de calcário promoveu, após seis meses, a diminuição da m para valores próximos a neutralização (1% para ambas quando aplicadas as doses de 2 e 8,5 t ha⁻¹) na menor profundidade do solo (0 a 2,5 cm) e, sob maior profundidade (10 a 15 cm) houve um aumento do m para 58 e 57%, respectivamente. Isso também foi observado no presente estudo, no qual o efeito da aplicação de calcário apresentou maior efeito na menor profundidade do solo (0 a 5 cm).

O baixo índice do m no QCAL+NPK pode ser explicado pela dose de calcário que foi utilizada nesse tratamento (equivalente a 5,77 t ha⁻¹), apesar de aplicado superficialmente, o calcário promoveu benefícios também na maior profundidade (10 a 20 cm), embora a intensidade deste efeito tenha sido menor de 10 a 20 cm, em relação às profundidades de 5 a 10 e 10 a 20 cm.

Nas menores profundidades, os menores valores de H+Al foram verificados para o QCAL+NPK, em relação aos demais tratamentos, com semelhança ao CAL+P na profundidade de 0 a 5 cm. Isso ocorreu principalmente em função da dose de calcário utilizada nesse tratamento (V elevada para 60%, com dose equivalente a 5,77 t ha⁻¹), enquanto que os tratamentos CAL, CAL+P e CAL+NPK tiveram sua V elevada a 40%, com aplicação de dose equivalente a 3,64 t ha⁻¹. Em função disso, o efeito da intensificação foi mais pronunciado na menor profundidade do solo (0 a 5 cm) e para os tratamentos com maior nível de intensificação (CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK).

Biazatti et al. (2020) também observaram resultados positivos para a acidez potencial com a utilização de calcário, visto que o mesmo funciona como corretivo da acidez do solo. O decréscimo da acidez se explica pelo aumento do pH com incremento de Ca²⁺ e Mg²⁺, realizando de maneira positiva o controle da acidez potencial do solo.

Maiores valores de S foram obtidos para os tratamentos com maior nível de intensificação (CAL+NPK e QCAL+NPK), em todas as profundidades, enquanto os menores valores ocorreram para os tratamentos menos intensificados (CTRL e CAL), demonstrando o efeito benéfico da associação entre calagem e adubação para o maior teor de soma de bases.

De forma semelhante ao presente estudo, Rodrigues et al. (2017) também concluíram que os valores de Ca²⁺ e Mg²⁺ e a soma de bases diminuíram com o aumento da profundidade (0 a 40 cm), menos para o sistema de preparo convencional (quando comparados aos tratamentos mata, pastagem nativa e o cultivo mínimo) que apresentou valores uniformes ao longo do perfil do solo. Os autores também concluíram que os teores de Ca e Mg são comumente maiores em condições de deposição de resíduos orgânicos, como nas áreas de mata e pastagens nativas/naturalizadas, e em condições de pouco revolvimento do solo, como no preparo mínimo, em comparação com sistemas de alto revolvimento do solo, uma vez que a reciclagem de nutrientes pelas plantas também contribui para aumentar a soma de bases.

Novak et al. (2021) avaliando a composição química do solo em diferentes condições ambientais (áreas em processo de restauração ecológica, área de vegetação nativa/naturalizada e área de cultivo de cana-de-açúcar) em uma área de transição entre os Biomas Cerrado e Mata Atlântica, observaram relação com a MO associada à baixa interferência antrópica, sem o uso de implementos agrícolas e de tratos culturais que possibilitaram a mineralização lenta da MO acumulados ao longo do perfil do solo, contribuindo diretamente para o aumento da soma de bases no perfil do solo. No presente estudo a maior COS foi observada na menor profundidade (0 a 5 cm) e foi maior no tratamento com maior nível de intensificação com *U. decumbens* (CAL+NPK) demonstrando que o efeito da calagem e da adubação completa promove efeito em curto prazo nesse atributo.

Somado a isso, a maior capacidade de troca catiônica nas camadas mais superficiais pode estar relacionada com o conteúdo de materiais orgânicos presentes em maiores teores nessas profundidades. Visto que nos solos a presença de cátions está relacionada com a presença

de ânions, o teor de matéria orgânica no solo é fundamental contribuindo com até 80% das cargas negativas do solo (MADARI et al., 2009).

Rodrigues et al. (2017) associam os valores de t , que reduziram com o aumento da profundidade, aos valores de pH e teor de material orgânico provenientes dos sistemas de manejo, uma vez que o pH e a matéria orgânica afetam diretamente a t . Esses resultados também estão relacionados à acentuada contribuição de cargas variáveis na fração mineral, que são encontradas principalmente em solos tropicais intemperizados. Os autores concluem que a matéria orgânica também contribui para equilibrar as cargas negativas e diminuir a atividade do hidrogênio, que também é afetada por cátions na solução do solo. Em função disso, o acúmulo de COS observados nas menores profundidades (0 a 5 cm) contribuiu positivamente nos valores de t .

Vinha et al. (2021) avaliaram os atributos dos solos que influenciam na dinâmica de adsorção do P em um Latossolo Vermelho Amarelo e em um Neossolo Quartzarênico, e mostraram que a V ficou abaixo de 10% para ambos, com elevados teores de alumínio e hidrogênio, o que contribuiu para a baixa V , e como consequência menor capacidade de retenção de cátions e maior acidez. De forma contrária, no presente estudo na menor profundidade (0 a 5 cm) a V foi de 52% no tratamento mais intensificado (QCAL+NPK). Neste aspecto, cabe ressaltar que o valor de V considerado adequado para o desenvolvimento de *U. decumbens* pela calagem é de 40% (CFSEMG, 1999), o qual foi obtido em CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK na profundidade de 0 a 5 cm, demonstrando que a concentração de cátions no solo apresentou efeito positivo com a utilização dos níveis de intensificação impostos (RODRIGUES et al., 2017). Os resultados obtidos no presente experimento para os tratamentos mais intensificados, sugerem que houve uma maior capacidade do solo em reter cátions, reduzindo a acidez do solo, principalmente na menor profundidade do solo.

Rodrigues et al. (2017) também atribuem a maior concentração de P na camada superficial devido à ausência de preparo do solo e na manutenção de resíduos provenientes das culturas para a manutenção dos níveis maiores de P nessa profundidade, similarmente ao obtido nos tratamentos mais intensificados (CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK). Cabe ressaltar que o CTRL e CAL não foram adubados com P, por isso, era de se esperar resultados similares em seus teores nas profundidades avaliadas, além disso, o P é pouco móvel no solo e o resultado obtido também ocorreu em função das concentrações de P na solução solo (SANTOS et al., 2008).

A diminuição do teor de P com o aumento da profundidade obtida no presente estudo, também foi observada por Santos et al. (2008). Estes autores avaliaram os fatores que afetam a mobilidade do P em sistema plantio direto e observaram que a forma inadequada de aplicação de fosfatos no solo sob esse sistema acarreta aumentos em seus teores na menor profundidade, o que não tem corrigido a deficiência desse nutriente em maiores profundidades do solo, onde há predominância do desenvolvimento radicular. Aliado a isso, as condições químicas do solo (presença de alumínio trocável) e físicas (resistência à penetração) comprometem o desenvolvimento de gramíneas para explorar o perfil do solo.

Segundo Rodrigues et al. (2017) o K^+ é geralmente maior em sistemas de pouca perturbação do solo, uma vez que maiores teores de matéria orgânica são encontrados nas camadas superficiais, contribuindo para a capacidade de troca catiônica da superfície do solo e, conseqüentemente, para uma maior retenção de nutrientes e menor taxa de lixiviação. No presente experimento, como o K foi adicionado ao solo de forma superficial e à lança após cada corte da forragem, isso promoveu incremento desse nutriente no solo, principalmente na menor profundidade do solo (0 a 5 cm).

De forma contrária ao presente estudo, Biazatti et al. (2020) avaliaram as variáveis químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico com pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 Xaraés em Rondônia com adição de calcário e não observaram alteração

do teor de K^+ em função do calcário aplicado. Porém, o mesmo não ocorreu para os outros nutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} e P), para os quais houve efeito positivo das doses de calcário aplicadas, evidenciando o seu efeito positivo, semelhante ao presente estudo.

Silveira et al. (2013) não verificaram efeito da fertilização nitrogenada no COS, e obtiveram menores valores médios ($7,5 \text{ g kg}^{-1}$) quando comparados com o presente estudo (média de $21,4 \text{ g kg}^{-1}$ dos tratamentos mais intensificados – CAL+NPK e QCAL+NPK). Isso pode ser explicado pelo maior teor de matéria orgânica depositada via serapilheira na camada de menor profundidade, demonstrando que o manejo interfere diretamente nos valores de COS, como também reportado por Lal (2002).

Romão (2012) avaliou o teor de COS em três usos do solo (floresta, pastagens com *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu, *Brachiaria decumbens* Stapf e *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia e agricultura com cana-de-açúcar e milho) e observou que o não revolvimento da camada mais superficial do solo pode ter impacto positivo no acúmulo de COS, semelhante ao observado no presente estudo. Isso se deve ao fato que com o revolvimento ocorre redistribuição de COS nas profundidades do solo. Semelhante ao presente estudo, os mesmos autores citam que o acúmulo de COS é maior nas menores profundidades (0 a 10 cm) e vão diminuindo com o aumento da profundidade. Nas áreas de pastagens, na profundidade de 0 a 10 e 10 a 20 cm houve uma redução de $4,90 \text{ g dm}^{-3}$ (22,68%) e, entre 10 a 20 e 20 a 40 cm, de $3,40 \text{ g dm}^{-3}$ (20,35%). Essa diminuição também foi observada no presente estudo, no qual o teor de COS foi reduzindo com o aumento da profundidade, na profundidade de 0 a 5 cm o COS foi em média $21,19 \text{ g kg}^{-1}$ e diminuiu para $14,83 \text{ g kg}^{-1}$ na profundidade de 10 a 20 cm, uma vez que maiores teores de carbono ocorrem nas menores profundidades em função da maior quantidade de matéria orgânica na superfície do solo, devido ao aporte de biomassa proveniente da pastagem, além do não revolvimento do solo, que também contribuiu para o maior COS nesta camada (CARVALHO et al., 2014).

5.2 Atributos Físicos do Solo

No presente estudo, independente da estratégia de calagem e/ou adubação, esta não promoveu alteração dos atributos físicos do solo, possivelmente pela ausência de manejo do solo com cultivos (gradagem e aração), pois, na área experimental, não houve tráfego de máquinas agrícolas e/ou a utilização de animais para pastejo. Em função disso, todos os atributos físicos do solo avaliados não foram influenciados pelos tratamentos. A DS, PT, DMP, DMG e RSP variaram com aumento da profundidade do solo. A DP, IEA, macroporosidade, microporosidade e porosidade total não foram influenciadas pelos tratamentos e profundidades do solo avaliadas.

5.2.1 Densidade do solo, de partículas e porosidade total do solo

A DP não variou entre os tratamentos e em profundidade, o que se explica pelo fato desta variável ser estável no solo ao longo do tempo, não sendo facilmente influenciada pelo manejo com atividades de uso e ocupação do solo (KIEHL, 1979).

Apesar da variação em profundidade, os valores de DS verificados no presente estudo encontram-se dentro da faixa considerada adequada para o desenvolvimento das raízes das plantas (KIEHL, 1979). De forma contrária ao presente estudo, Burgrever et al. (2019) comparando três sistemas de manejo do solo (pastagem de *U. brizantha* sem calagem e adubação de manutenção, mata nativa/naturalizada e reflorestamento) em Latossolo Vermelho Amarelo no bioma Amazônia concluíram que houve incremento da densidade do solo (+24%) e redução da PT do sistema com pastagem em relação àquele da mata nativa/naturalizada, em função do pisoteio animal sobre o solo, além da baixa cobertura vegetal, necessários para

amenizar o impacto do pisoteio animal neste sistema, visto que a área de pastagem caracterizava-se como degradada. Entre os tratamentos, a menor porosidade foi obtida para a pastagem, resultado este relacionado à compactação que reduz os espaços porosos do solo em comparação ao solo nativo (BURGREVER et al., 2019). O mesmo não foi observado no presente trabalho, uma vez que não houve aumento da DS na menor profundidade do solo (0 a 5 cm) também devido à ausência do efeito do pisoteio animal e do trânsito de tratores na área (Tabela 9).

A redução da qualidade do solo pelo seu manejo incorreto, leva à formação de camadas compactadas que irão proporcionar maior resistência física para o desenvolvimento das raízes das plantas (JIMENEZ et al., 2008), além disso, a ausência de calagem e adubações de manutenção nestes sistemas limita o desenvolvimento da forrageira. Nesse sentido, Burgrever et al. (2019) verificaram que o aumento da densidade do solo reduziu a capacidade de armazenamento e de infiltração de água no solo, devido à redução da porosidade total e porosidade de aeração, relacionadas à diminuição da matéria orgânica fornecida pela pastagem. Enquanto Canto et al. (2018), estudaram alterações na densidade do solo e no volume total de poros em lavouras sob sistema plantio direto na região de Cerrado em operações motomecanizadas e observaram valores médios de densidade do solo (DS) de 1,06 e 1,18 Mg m⁻³ para 0 a 10 e 10 a 20 cm, respectivamente. Os valores de volume total de poros (VTP) do estudo destes autores foram, em média, de 58% para 0 a 10 cm e de 54% para 10 a 20 cm, enquanto para a DS, na profundidade de 0 a 20 cm, obtiveram maiores valores (médias de 1,35 e 1,45 Mg m⁻³) para pastagem e agricultura convencional, respectivamente, em solos do Cerrado. Já para o VTP, verificaram-se valores médios de 45 e 48%, para pastagem e agricultura convencional, respectivamente. Esses resultados evidenciam a importância da manutenção adequada da DS para o desenvolvimento agrícola, proporcionando condições para o desenvolvimento das raízes das plantas, que pode ser comprovada no presente estudo, o qual a DS permaneceu abaixo do limite crítico de 1,85 Mg m⁻³ (REINERT et al., 2008).

Similarmente ao presente estudo, Moreira et al. (2005b) avaliaram os atributos físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico sob pastagem degradada (*U. brizantha* degradada e solo compactado e com deficiência química) e recuperada (*U. brizantha* com solo química e fisicamente recuperado) e verificaram a maior DS até 17,5 cm de profundidade para área degradada de 1,5 Mg m⁻³ e menor DS para área recuperada de 1,3 Mg m⁻³.

De forma contrária ao presente estudo, Muller et al. (2001) avaliaram as características físicas do solo em pastagem degradada de *Panicum maximum* Jacq. cv Colômbio em Argissolo Vermelho Amarelo da Amazônia e verificaram a degradação da pastagem de colômbio, visualmente constatada pela diminuição de produção de forragem, pela maior infestação de plantas daninhas e pela menor cobertura do solo, foi acompanhada de diminuição da PT e consequente aumento da DS em sua camada superficial. Nesta camada, o grau de floculação da argila, que indica a estabilidade dos microagregados, diminuiu com o aumento da degradação da pastagem.

Contudo, apesar dos resultados obtidos no presente experimento, que caracterizam um solo com baixa fertilidade, constata-se que este não prejudicou a qualidade física do solo de modo a limitar o crescimento da parte aérea das forrageiras.

5.2.2 Diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade dos agregados (IEA)

Apesar do DMP do presente estudo ter sido influenciado pela profundidade, todos os valores obtidos foram superiores a 4 mm. De acordo com Kiehl (1979) e Schultz et al. (2019), solos com agregação que apresentam DMP superiores a 2 mm indicam boa qualidade e com

condições físicas favoráveis no que diz respeito a aeração, infiltração e redistribuição de água, além do estabelecimento do sistema radicular das plantas.

A atividade do sistema radicular das gramíneas, associada à ausência de revolvimento do solo, contribui efetivamente para formação de macroagregados estáveis. Nesse sentido, Pinheiro et al. (2004) avaliaram a estrutura física em Latossolo Vermelho sob diferentes estratégias de manejo e observaram que o solo sob pastagem de gramínea apresentou maior diâmetro médio de partículas e maior diâmetro médio geométrico, independentemente da profundidade (0 a 5 cm ou 5 a 10 cm) em relação à tração animal, sem cultivo, cultivo convencional e solo descoberto.

O efeito positivo do desenvolvimento das raízes no perfil do solo que contribuem para a formação de agregados estáveis obtidos no presente estudo, também foram observados por Panachuki et al. (2006) que compararam sistemas cultivados e verificaram na profundidade de 0 a 5 cm o sistema de pastagem apresentou os maiores valores de DMG (+ 0,58 mm) e DMP (+ 0,86 mm) em relação ao sistema plantio direto. Esta diferença entre os sistemas representa a melhor estrutura física nas áreas sob pastagem, ocasionada, possivelmente, pela ação do sistema radicular das gramíneas e do maior teor de matéria orgânica, que atua como elemento estabilizador da estrutura, promovendo a formação de agregados maiores e mais estáveis (FERREIRA et al., 2010), assim como observado no presente estudo. Estes mesmos autores também constataram diminuição dos valores de diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado na medida em que aumentou a profundidade, corroborando com os dados de Lima et al. (2003), que consideraram que este fenômeno é resultado, provavelmente, da redução dos teores de CO em profundidade. Da mesma forma, no presente estudo, o DMP e o DMG foram menores na maior profundidade do solo.

Valores elevados de IEA representam maior estabilidade das unidades estruturais em água, indicando maior agregação das partículas (SILVA et al., 2006). Contudo, não foi observado efeito do tratamento ou de profundidade para o IEA no presente estudo, devido à boa agregação das partículas do solo.

Estudos realizados em Latossolo do Cerrado demonstraram que sistemas de manejo do solo com rotação de lavoura e pastagem/braquiária em sistema plantio direto, quando comparados à sistemas apenas com lavouras, favorecem a formação de agregados estáveis de maior tamanho. Isso revela a importância das gramíneas na formação de macroagregados, devido aos benefícios do sistema radicular (SALTON et al., 2008) e, portanto, a estabilidade de agregados constitui fator importante na avaliação dos sistemas de manejo do solo.

5.2.3 Macro e microporosidade e porosidade total do solo

A ausência de diferença significativa destes atributos entre os tratamentos pode ter ocorrido em função das adequadas condições das características físicas do solo, nas quais as diferentes estratégias de calagem e adubação para recuperação ou renovação da pastagem de *U. decumbens* utilizadas não contribuíram para alterações na macro e microporosidade do solo.

Apesar de não haver diferença significativa entre os tratamentos, o solo da área experimental possuía valor de microporosidade considerado ideal, o que favorece o armazenamento de água e o desenvolvimento de raízes finas que absorvem os nutrientes do solo (BURGREVER et al., 2019). De acordo com Lima et al. (2007) a porosidade do solo é referida como ideal quando se apresenta com $0,50 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ do seu volume total, no qual a microporosidade estaria entre $0,25$ e $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, e a macroporosidade ficaria entre $0,17$ e $0,25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Bonini et al. (2011) avaliaram a recuperação das propriedades físicas do solo (por meio de adubos verdes, calagem, gessagem, pastagem e espécies de ocorrência espontânea) e obtiveram na profundidade de 0 a 10 cm, três tratamentos (*Stizolobium aterrimum* + *Urochloa decumbens*; *Cajanus cajan* + *Canavalia ensiformis* + *Urochloa decumbens*; calcário, gesso,

Stizolobium aterrimum + *Urochloa decumbens*) com valores abaixo de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, considerado limite mínimo crítico para um bom desenvolvimento do sistema radicular da planta.

A microporosidade é responsável pela retenção e armazenamento de água, enquanto a macroporosidade influencia a infiltração e a drenagem da água no solo (REICHERT et al., 2007), por isso os valores adequados desses atributos irão influenciar também o teor volumétrico de água no solo, como observado no presente estudo.

5.2.4 Resistência do solo a penetração

De maneira geral foram obtidos altos valores para RSP a partir de 5 cm de profundidade, entre 5 e 7 MPa para a maioria dos tratamentos, apesar de a densidade do solo (Tabela 12) não ser elevada, o solo ser poroso (Tabela 11) e a umidade determinada na amostragem de 0 a 40 cm ser elevada (Tabela 13), sendo, portanto, considerada como adequada para as plantas (KIEHL, 1979). Uma possível explicação para os valores elevados de RSP pode estar na umidade avaliada na profundidade de 0 a 40 cm, a qual não representou exatamente a umidade da profundidade de 10 a 20 cm, onde ocorreram os maiores valores e, possivelmente, com umidade inferior à verificada na profundidade de 0 a 40 cm. Isto pode ser constatado na Tabela 13, na avaliação da umidade na profundidade de 0 a 10 cm, utilizada para gerar um fator de correção das leituras de umidade realizadas com a sonda, e inferior à umidade verificada na profundidade de 0 a 40 cm.

No presente estudo, o menor valor de RSP foi de 0,916 Mpa na profundidade de 0 a 5 cm. Esse dado sugere que a menor profundidade do solo parece não ter sofrido intervenção, do pisoteio animal e/ou pressão exercida por máquinas agrícolas, tendo o solo assim mantido sua estrutura preservada nessa profundidade. Rocha Júnior (2012) obteve em área de mata e capoeiras valores entre 0,92 a 1,44 Mpa (na profundidade 0 a 5 cm). Esses valores foram considerados como muito baixo e baixo, respectivamente, de acordo com a classificação de Canarache (1990), não causando limitação ao desenvolvimento radicular, o que também foi obtido no presente estudo. Este autor sugere que valores acima de 2,5 MPa começam a restringir o pleno crescimento das raízes da maioria das plantas.

O crescimento radicular é inversamente relacionado com a RSP. Valores de RSP entre 1,0 e 3,5 Mpa restringem o crescimento das raízes (COSTA et al., 2015). O valor de RSP = 2 Mpa tem sido frequentemente utilizado como crítico para o crescimento das plantas, ainda que 2,5 Mpa tenha sido encontrado em solos sob pastagem e 3,0 Mpa em solos sob florestas (BLAINSKI et al., 2008).

O maior valor de RSP foi obtido na profundidade de 15 a 20 cm para todos os tratamentos, com valores superiores a 5,53 Mpa, isso sugere que pode haver uma limitação do crescimento radicular, principalmente nos tratamentos menos intensificados (Tabela 12), pois segundo Paulino (2013) o valor de 2,0 MPa tem sido aceito como o limite crítico de resistência mecânica do solo à penetração. O mesmo autor sugere que um solo com RP variando de 1 a 3,5 MPa poderá restringir ou mesmo impedir o crescimento e o desenvolvimento das raízes e valores de RP de 2,8 a 3,2 MPa retardam o alongamento das raízes e com 4,0 MPa não há crescimento de raízes.

5.2.5 Teor volumétrico de água no solo

Apesar do teor volumétrico de água no solo do verão 2 ter sido expressivo, houve um ciclo de estiagem (veranico - dados não visualizados na Figura 1), de 13/01/21 até 03/02/21. Assim, mesmo com as altas precipitações de janeiro de 2021 (274 mm) e fevereiro (279 mm), estas ficaram concentradas na primeira quinzena do mês de janeiro e na segunda quinzena do

mês de fevereiro, respectivamente, nas quais a chuva prevista para esta época ficou concentrada em momentos distintos desta estação (verão 2), o que pode ser constatado pelo déficit hídrico observado no mês de março (Figura 1), e evidencia que a precipitação pluviométrica nessa estação não foi distribuída uniformemente.

Os valores de porosidade obtidos no presente experimento (Tabela 11), que foram avaliados até 10 cm de profundidade, favoreceram o processo de aeração do solo, que são compostos por macroporos (responsáveis pela drenagem e aeração do solo) e microporos (responsáveis pela retenção de água no solo), os quais determinam o movimento da água no perfil do solo (BRADY, 1979; RIBEIRO et al., 2007). Além disso, os valores obtidos para densidade do solo (Tabela 9) e resistência do solo a penetração nas menores profundidades do solo (Tabela 12) demonstraram boa estrutura física do solo da área experimental, que pode ter contribuído para a retenção da umidade do solo nas menores profundidades, principalmente nas épocas de maiores precipitações (verão).

5.3 Variáveis da Forragem

5.3.1 Massa de forragem, composição botânica e morfológica, relação folha: colmo e acúmulo de forragem

As maiores massas de forragem totais acumuladas no extrato pastejável para o tratamento do QCAL+NPK nas cinco estações avaliadas em relação aos tratamentos CTRL, CAL e CAL+P com *U. decumbens* cv. Basilisk, ocorreram em função do potencial produtivo da BRS Quênia e também da calagem e adubações com NPK. A superioridade dos tratamentos mais intensivos (CAL+NPK e QCAL+NPK) em relação aos demais no outono 1, verão 2 e outono 2, ocorreu em função da fertilização mais completa com calagem e NPK em ambos os tratamentos em relação aos demais (CTRL, CAL e CAL+P), já que ambas as forrageiras são responsivas à fertilização, especialmente a BRS Quênia (MOREIRA et al., 2009; MARTUSCELLO et al., 2018).

Essa maior massa de forragem total acumulada para o tratamento o QCAL+NPK do que para todos os demais tratamentos com *U. decumbens* cv. Basilisk em duas (verão 1 e primavera 1) das cinco estações avaliadas, também ocorreu em função do maior número de cortes obtido para este tratamento (11 cortes – Tabela 6) do que para todos os demais tratamentos, até mesmo para o CAL+NPK (10 cortes – Tabela 6), demonstrando o grande potencial produtivo do capim BRS Quênia quando realizadas aplicações de calcário e adubações com NPK após cada corte de forragem, devido sua responsividade à adubação sobretudo à nitrogenada (MARTUSCELLO et al., 2018). A calagem e adubação com NPK influenciaram o resultado obtido quanto ao intervalo entre cortes deste tratamento (Tabela 6), principalmente nas estações de melhores condições climáticas (verão 1 e 2), visto que os intervalos entre cortes nessas estações foram de 20 e 32 dias, respectivamente. No verão 2 houve um ciclo de estiagem durante o final de janeiro até a metade de fevereiro e, em função disso, não houve corte de forragem para nenhum tratamento em fevereiro de 2021, o que contribuiu para o maior intervalo entre cortes verificado nesta estação, mesmo para o tratamento mais intensificado (QCAL+NPK).

As maiores massas de forragem totais acumuladas obtidas na primavera 1 para todos os tratamentos ocorreram em função das condições climáticas favoráveis ao desenvolvimento das forrageiras (principalmente precipitação, temperaturas e fotoperíodo), que favoreceram tanto os tratamentos com maior nível de adubação (CAL+P, CAL+NPK e QCAL+NPK), que apresentaram superioridade média de 2.596 kg ha⁻¹ de massa seca em relação aos demais, como também aos tratamentos somente com calagem (CAL) ou sem calagem e adubação (CTRL). Além disso, cabe ressaltar que a mineralização da matéria orgânica que é acumulada

durante o inverno, também pode favorecer o acúmulo de forragem na primavera, devido ao aporte e decomposição de resíduos vegetais (SOUZA, 2008).

As menores massas de forragem totais acumuladas obtidas em quatro dos cinco tratamentos (exceto no CAL) durante o verão 2 comparativamente à primavera 1 ocorreu em função de uma estiagem (dados não visualizados na Figura 1) durante o período de 13/01/21 até 03/02/21. Apesar do alto volume de precipitação de janeiro de 2021 (274 mm), a mesma ficou concentrada na primeira quinzena do mês, que pode ter impactado diretamente no desenvolvimento do pasto subsequente a esta época. Em função disso, não houve coleta de amostras em fevereiro de 2021 (verão 2), elevando o intervalo de corte durante esse período para 55 dias nos tratamentos CTRL, CAL, CAL+P, para 35 dias no CAL+NPK e para 42 dias no QCAL+NPK, o que não era esperado para a avaliação nesta estação.

A semelhança de massa de forragem total acumulada entre o CAL+NPK e QCAL+NPK durante o outono 2, ocorreu porque houve um corte a mais para o CAL+NPK do que para o QCAL+NPK nessa estação devido a uma possível melhor adaptação que a *U. decumbens* sob maior nível de adubação entre os tratamentos com esta mesma forrageira nesta estação de menor precipitação. Somado a isso, para o QCAL+NPK, deve-se considerar que a BRS Quênia apresenta florescimento precoce (VALOTE et al., 2021) e durante esta estação considerada já estava emitindo inflorescência, além das condições ambientais desfavoráveis (final do período chuvoso e diminuição do fotoperíodo), o que também pode ter contribuído para a diminuição da massa de forragem total acumulada verificada para o QCAL+NPK.

Cabe ressaltar que a diminuição da massa de forragem total acumulada das estações de verão para outono observada para o QCAL+NPK, também foi observada por Valote et al. (2021) com o mesmo capim na mesma região e no mesmo Campo Experimental da Embrapa Gado de Leite, a qual verificou com redução de 7.697 para 6.566 kg ha⁻¹ de massa de forragem de março/abril para maio/junho. Isto ocorre como consequência das menores precipitações e temperaturas médias, somado ao déficit hídrico durante o outono em relação ao verão, que prejudicam a renovação dos tecidos, levando à diminuição da massa seca de folhas e colmos (DELEVATTI et al., 2019).

A maior porcentagem de folhas (PF) observada para o QCAL+NPK em todas as estações é característica da cultivar BRS Quênia e corrobora os resultados obtidos por Jank et al. (2017) que verificaram que a cultivar produziu 13,2 t ha⁻¹ de massa seca de folhas no período das chuvas, com 86% de folhas em relação aos colmos, além de 1,41 t ha⁻¹ de massa seca de folhas na época seca com 95% de folhas.

Sabe-se que a lâmina foliar é o mais importante componente morfológico da forragem para a nutrição animal visto que possui maior valor nutritivo que os demais e indica o potencial produtivo dos pastos nos sistemas de produção (EUCLIDES et al., 2009; WILSON & t'MANNETJE, 1978), portanto dosséis que possuem maior porcentagem de folhas, como verificado nos tratamentos CAL+NPK e QCAL+NPK, apresentam maior potencial produtivo dos pastos para produção animal.

A maior PF do QCAL+NPK em relação aos outros tratamentos é característica intrínseca da cultivar BRS Quênia, já reportada por Jank et al. (2017), enquanto a segunda maior PF do CAL+NPK em relação aos demais tratamentos com *U. decumbens* durante quatro das cinco estações avaliadas, ocorreu em função da calagem e adubação com NPK (MOREIRA et al., 2009). Já a semelhança dos tratamentos CTRL, CAL, CAL+P e CAL+NPK durante o verão 1 (Tabela 15) pode ter ocorrido em função do início do período das avaliações, no qual houve pouco tempo para ação da adubação (tratamentos com NPK) no solo para promover diferenças entre o CAL+NPK e os outros tratamentos com *U. decumbens*.

A menor porcentagem de colmo (PC) para o QCAL+NPK ocorreu porque sob o manejo das alturas meta de pré e pós-corte (70 e 35 cm, respectivamente) neste tratamento, somente o extrato superior do dossel foi coletado, sendo a maior parte da massa de forragem composta

principalmente por folhas, poucos colmos, e por menor parte de material morto. Enquanto para a *U. decumbens*, as alturas meta de pré e pós-corte (40 e 20 cm, respectivamente) possibilitaram maior participação de material morto na composição morfológica da forragem. Contudo, somente foi constatada diferença significativa no outono 1, quando comparados todos os tratamentos com *U. decumbens* (CTRL, CAL, CAL+P e CAL+NPK) e aquele com *M. maximus* BRS Quênia (QCAL+NPK). Cabe ressaltar que nesta estação (outono 1) houve uma limitação de acesso à área e monitoramento das condições experimentais devido aos protocolos de segurança contra a disseminação de COVID19. Essa limitação pode ter contribuído para esse resultado, visto que as maiores alturas obtidas pela *U. decumbens* ocorreram nesta estação (Figura 6), principalmente para o CAL+NPK que apresentou a maior PC (semelhante a primavera 1 e verão 2) e maior PMM nessa estação.

No verão 1 ocorreram os menores valores de PC para o CTRL, CAL e CAL+NPK, o que indica o bom controle das metas de manejo experimental (40 cm pré-corte) devido à manutenção de valores baixos desse componente na massa de forragem durante a estação de melhor disponibilidade dos fatores ambientais de crescimento (Tabela 15).

Vale ressaltar que as amostras para essas variáveis foram coletadas na camada superior do dossel (rebaixamento para 50% da altura em pré-corte) e, em função disso, as proporções de colmos na massa de forragem total acumulada do tratamento com BRS Quênia permaneceram menores que 12% em todas as estações. Isso indica que o critério de rebaixamento nessa proporção (50% da altura pré-corte) pode favorecer a qualidade da forragem colhida/pastejada, em virtude da maior proporção da massa seca de colmos estar localizada na porção inferior do dossel (ZANINI et al., 2012).

A maior PC do CAL+NPK em relação aos demais tratamentos em todas as estações, pode ser explicada também pelo aumento na PF, já que ocorreu um aumento expressivo desse componente, isso sugere que houve maior desenvolvimento do dossel forrageiro para este tratamento, com possível incremento em densidade populacional de perfilhos. Além disso, nesse tratamento foi utilizada a estratégia de maior adubação entre os tratamentos com *U. decumbens*, que além de favorecer o desenvolvimento de folhas, pode ter efeito sobre maior PC obtida para esse mesmo tratamento.

De forma geral, plantas de porte mais alto e de crescimento cespitoso como aquelas da espécie *M. maximus*, apresentam maior representação de colmos na composição morfológica de sua forragem devido a estrutura de seus dosséis, o que não é desejável para o manejo dos pastos e nutrição animal, em função de sua menor digestibilidade em relação às folhas (MARTUSCELLO et al., 2018). Contudo, este padrão não foi constatado para a cultivar BRS Quênia, visto que esta apresentou os menores valores de PC, mesmo quando comparada à *U. decumbens*, que possui menor porte e hábito de crescimento decumbente, em todas as estações avaliadas. Este comportamento evidencia uma diferença estrutural do capim-Quênia em relação às demais cultivares de seu gênero, constatada pela sua relação folha: colmo em relação à *U. decumbens* (Tabela 15). Somado a isso, também deve-se considerar que as alturas metas de manejo (70 no pré-corte e 35 cm no pós-corte) também possibilitaram a coleta de menor massa de colmos nas amostras devido ter sido feita na altura do estrato pastejável.

Além disso, ressalta-se que a cultivar BRS Quênia foi escolhida para a estratégia de renovação da pastagem de *U. decumbens* (QCAL+NPK), pelo seu menor porte, quando comparada aos cvs. Mombaça e BRS Zuri de *M. maximus* (JANK et al., 2017), e maior facilidade de manejo, além de boa proporção de folhas na massa de forragem (FREITAS, 2019; VALOTE et al., 2021).

As menores massas de forragem totais acumuladas, PF e PC verificadas para o QCAL+NPK no outono 2 quando comparado ao verão 2, podem ser explicadas pelo início do florescimento da BRS Quênia ao final de março de 2021 relatado por VALOTE et al. (2021), também verificado no presente experimento, promovido pelas variações de temperatura, menor

precipitação acumulada, e fotoperíodo reduzido (EUCLIDES et al., 2008), porém com um padrão diferenciado em relação às demais cultivares de *M. maximus* quanto a este estágio fenológico (JANK et al., 2017).

Os valores de percentagem de material morto (PMM) obtidos para o CAL+NPK foram semelhantes àqueles dos demais tratamentos (CTRL, CAL e CAL+P) em quatro das cinco estações avaliadas. Porém esperava-se que a adubação nitrogenada proporcionasse maior participação da massa seca de material morto na massa de forragem devido às taxas dos processos (crescimento e senescência) serem aceleradas sob estas condições (FAGUNDES et al., 2006), fato que não ocorreu, possivelmente devido as folhas terem permanecido verdes por mais tempo e a altura de manejo utilizada ter favorecido uma menor PMM na massa de forragem. Cabe ressaltar que o material morto que realmente contribuiu e foi avaliado na massa de forragem, somente aquele aderido nas plantas na altura superior à 20 cm para *U. decumbens* e 35 cm para BRS Quênia, já que as amostras não foram coletadas ao nível do solo.

Menores valores de percentagem de plantas daninhas (PPD) foram obtidos no QCAL+NPK em relação aos demais tratamentos durante todas as estações (Tabela 15). Contudo, devido à alta variabilidade da ocorrência de plantas daninhas nas parcelas (unidades experimentais), não houve um padrão definido para esta variável em função dos tratamentos, das estações e/ou de suas interações. Somente pode ser verificada redução das PPD durante as duas últimas estações (verão 2 e outono 2) em relação às primeiras estações avaliadas (verão 1 e outono 1) para todos os tratamentos, sobretudo devido às melhorias das condições do solo nos tratamentos com calagem e adubações, como também devido ao efeito dos cortes realizados inclusive no CTRL durante o período experimental, o que proporciona renovação dos tecidos vegetais e reduz a participação de material morto na massa de forragem (DELEVATTI et al., 2019).

A maior relação folha: colmo obtida no QCAL+NPK do que nos demais tratamentos ocorreu devido à menor participação de colmos no QCAL+NPK, que foi baixa nas estações avaliadas (inferior a 448 kg ha⁻¹ de massa seca acumulada de colmos em todas as estações). Além disso, o manejo utilizado (70 cm pré-corte e 35 cm pós-corte) para esse tratamento pode ter contribuído para a baixa participação de colmos e alta de folhas, que foram superiores a 2.535 kg ha⁻¹ de massa seca de folhas em quatro das cinco estações avaliadas. Estes resultados evidenciam que as plantas do capim BRS Quênia, mantém alta relação lâmina foliar: colmo, o que é o um indicativo promissor para o uso dessa planta forrageira sob pastejo (VALOTE et al., 2021; FREITAS, 2019; MARTUSCELLO et al., 2018).

Somente houve diferença entre estações para o tratamento QCAL+NPK, com menores valores de relação folha: colmo nos verões 1 e 2. Isso ocorreu devido à época de florescimento do Quênia (fevereiro/março) que pode alterar essa relação no período considerado destas estações, resultado também obtido por Valote et al. (2021) que verificaram a menor relação folha: colmo em março.

Assim como obtido no presente estudo, Valote et al. (2021) também verificaram boa relação folha: colmo para a cultivar BRS Quênia, com variação durante as estações, caracterizadas pelo incremento na relação lâmina: colmo 1,3 para 1,7 ao início do verão, seguido de redução dessa relação (de 1,5 para 1,0) do meio e final do verão, com o maior valor desta relação verificado ao final do outono (2,0).

Alta relação folha: colmo representa forragem com maior valor nutritivo, elevados teores de proteína, digestibilidade, já que as folhas são as frações da planta forrageira com menor teor de fibra, e consumo, além de conferir à gramínea melhor adaptação ao pastejo ou tolerância ao corte. Em condições de pastejo, o consumo é influenciado pela oferta de forragem e pela estrutura da vegetação no dossel como a relação folha: colmo (VAN SOEST, 1994; WILSON & t'MANNETJE, 1978).

Nos demais tratamentos com *U. decumbens* a relação folha: colmo foi semelhante entre todas as estações, com os maiores valores no verão 1 e primavera 1 para todos os tratamentos. A ausência de diferença significativa para a relação folha: colmo entre os tratamentos com *U. decumbens* pode ser explicada observando o desenvolvimento dos perfilhos entre as estações e entre os tratamentos. Dependendo da condição ambiental da estação (precipitação e temperatura), há um incremento na produção de folhas nas estações (verão 1, primavera 1 e verão 2) onde essas condições ambientais são mais favoráveis para a produção deste componente morfológico (Figura 1). Enquanto que no outono 1 e no outono 2 houve maior participação de colmos (Tabela 15), devido às condições ambientais como o déficit hídrico (Figura 1) e a diminuição da radiação que comprometem o desenvolvimento do perfilho, resultando em menor participação de folhas e maior de colmos na massa de forragem (ALENCAR et al., 2010).

O maior potencial de produção do capim-Quênia (JANK et al., 2017) em relação à *U. decumbens* (FAGUNDES et al., 2005), justifica os resultados de maiores TAF obtidas nas estações de verão 1, outono 1, primavera 1 e verão 2 para o tratamento QCAL+NPK, com semelhança ao CAL+NPK no verão 2. Já a superioridade da produção de forragem para o CAL+NPK no verão 2 (semelhante ao QCAL+NPK) e no outono 2, como também em relação aos demais tratamentos com *U. decumbens* (superioridade média de 56 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de massa seca), ocorreu em função do efeito de suas fertilizações mais completas com calagem e NPK (MOREIRA et al., 2009).

Sabe-se que o potencial de produção é determinado geneticamente, porém, as condições ambientais e de solo adequadas (temperatura, precipitação, luminosidade e disponibilidade de nutrientes, principalmente o N) afetam diretamente no desenvolvimento das pastagens durante o ano (FAGUNDES et al., 2005). Isso explica as maiores taxas de acúmulo de forragem verificadas nos tratamentos com fertilização mais completa (CAL+NPK e QCAL+NPK) durante as estações verão e primavera, quando normalmente não ocorre limitação de fatores ambientais para o crescimento do pasto. Somado a isso, sabe-se que o N acelera o metabolismo da planta e aumenta os processos morfogênicos (BASSO et al., 2010) e que o uso de N, aliado também a fertilização com P e K, promove aumentos nas taxas de aparecimento e de alongamento de folha (BASSO et al., 2010; PAIVA et al., 2012). Essas variáveis morfogênicas influenciam diretamente as variáveis estruturais do pasto (CHAPMAN & LEMAIRE 1993; DIFANTE et al., 2011) e promovem incremento no acúmulo de forragem.

A menor taxa de acúmulo de forragem obtida no QCAL+NPK no outono 2 pode ser explicada pelo estágio fenológico do capim, visto que nessa época (fevereiro/março) ocorre o florescimento da BRS Quênia (VALOTE et al., 2021), que pode ter colaborado para o baixo acúmulo obtido (45,7 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de massa seca).

Contudo, mudanças na estrutura do pasto não resultam, necessariamente, em aumento no acúmulo de forragem verde, uma vez que altas taxas de crescimento, decorrentes da adubação nitrogenada, podem ser neutralizadas por maiores taxas de senescência como observado por Schnyder et al. (2000). Apesar de não terem sido avaliadas as taxas de crescimento de folhas e colmos, verifica-se que houve maior incremento de massa seca de folhas e de colmos para o CAL+NPK quando comparado aos demais tratamentos com *U. decumbens*, como também de folhas para o QCAL+NPK em relação a todos os demais tratamentos (Tabela 15).

5.3.2 Valor nutritivo da forragem

O teor de FDN é o fator mais limitante do consumo de volumoso quando os constituintes da parede celular são superiores a 600 g kg⁻¹ na MS e, dessa forma, a concentração de FDN é o componente mais consistentemente associado ao consumo da forragem (VAN SOEST, 1994).

Apesar da FDN superior a 600 g kg^{-1} para todos os tratamentos durante as estações avaliadas (exceto para o CAL na primavera 1), esta não afetou negativamente a DIVMS. No presente estudo, as maiores concentrações de FDN foram obtidas para o QCAL+NPK em todas as estações avaliadas (com semelhança ao CAL+NPK no outono 1, ao CTRL e CAL no outono 2). Similarmente, Jank et al. (2017) obtiveram teores de FDN de 720 a 750 g kg^{-1} no período seco e no período chuvoso, respectivamente, para *M. maximus* cv. BRS Quênia. Vale destacar que, apesar das maiores concentrações de FDN no QCAL+NPK, não houve redução da DIVMS neste tratamento, evidenciando que a fração fibrosa das plantas desta forrageira apresenta alta digestibilidade.

As concentrações de PB de todos os tratamentos foram superiores a 70 g kg^{-1} durante as estações do ano, mínimo exigido para não haver comprometimento do crescimento microbiano ruminal (LAZZARINI et al., 2009; VAN SOEST, 1994). Resultados semelhantes foram obtidos por MOREIRA et al. (2009), que concluíram que a qualidade da forragem de *U. decumbens* cv. Basilisk é influenciada pela estação do ano (verão e inverno), e pela adubação nitrogenada. Além disso, a altura de corte a qual a planta é submetida pode influenciar o valor nutritivo das plantas forrageiras, pois a concentração de PB é maior na porção superior (folhas) em comparação aos colmos das plantas (MORAES & MARASCHIN, 1988), o que indica que as alturas utilizadas como metas de corte foram adequadas para obter concentrações de PB acima do mínimo recomendado na forragem para nutrição animal, em todos os tratamentos no presente estudo.

O aumento das concentrações de FDN, associado a diminuição das concentrações de PB verificadas do verão 1 para outono 1 no CAL+NPK, ocorreu em função das alterações na composição morfológica do pasto, com diminuição da participação de folhas e aumento de colmos (Tabela 15). Resultado semelhante foi obtido por Freitas (2019) no qual as concentrações de PB apresentaram redução entre os períodos 1 (dezembro a janeiro) e 2 (fevereiro a março), com decréscimo de 183 para 169 g kg^{-1} , aliado aos crescentes valores de FDN. A autora concluiu que como o pasto estava sendo manejado adequadamente, os teores de proteína da forragem podem ter sido influenciados pela composição morfológica do pasto, uma vez que, ao aproximar do período mais seco e de menor precipitação, a renovação dos tecidos é reduzida e fica prejudicada (ZANINE et al., 2011), destacando-se presença maior de material morto e tecidos fibrosos que comprometem drasticamente a qualidade (VAN SOEST, 1965).

Andrade et al. (1996) demonstraram que a adubação nitrogenada aumentou a concentração de PB do capim Marandu (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) e, segundo Magalhães et al. (2007) a aplicação de N eleva a produção de massa seca de folhas e de colmos, proporcionando aumento na relação folha: colmo, promovendo a melhora no valor nutritivo da forragem, associado a uma melhor nutrição animal. A adubação nitrogenada ocasiona mudanças estruturais e na composição química dos tecidos da planta. Conseqüentemente, a elevação dos constituintes estruturais, como fibras e lignina, pode acarretar no decréscimo da concentração de PB (OLIVEIRA et al., 2010), o que pode ter ocorrido no QCAL+NPK durante as estações avaliadas. Além disso, com o aumento do acúmulo de forragem do verão 1 até a primavera 1 (Tabela 16), pode ter ocorrido um efeito de diluição da PB nos tecidos vegetais.

A maior concentração de PB no verão 1 em relação ao outono 1 ocorreu em função deste ter sido o primeiro período de crescimento após o início das adubações nos tratamentos com *U. decumbens* (CAL+P e CAL+NPK) e com a cultivar BRS Quênia (QCAL+NPK), o que pode ter acumulado mais PB nos tecidos vegetais para compensar os longos períodos de deficiência nutricional, decorrentes da baixa disponibilidade de N no solo, como também verificado por Oliveira et al. (2010). Além disso, no verão 1 as melhores condições edafoclimáticas podem ter contribuído para o desenvolvimento de folhas e para a maior concentração de PB, visto que a proporção de folhas na composição da forragem foi superior àquela de colmos, mesmo para o tratamento sem adubação (CTRL) (Tabela 15).

A diminuição da concentração de PB no QCAL+NPK do verão 1 para o outono 1, e do verão 2 para o outono 2, pode ter sido influenciada pela composição morfológica dos pastos, já que, com a aproximação do período mais seco e de menor precipitação, a renovação dos tecidos fica prejudicada (ZANINE et al., 2011), além de ter ocorrido o florescimento da cultivar BRS Quênia, nas transições entre estas estações, o que também alterou a qualidade da forragem. Cano et al. (2004) concluíram que o valor nutritivo das lâminas foliares foi melhor do que aquele de colmos + bainha, indicaram que o manejo do pasto deve ser direcionado à contribuição da massa de forragem das folhas.

Esperava-se que as concentrações de PB fossem superiores nos tratamentos mais intensificados com *U. decumbens* (CAL+NPK) em comparação aos outros tratamentos com a mesma espécie. Porém isso não ocorreu nas estações verão 1, primavera 1, outono 1, nas quais os valores foram semelhantes entre os tratamentos, sendo superiores para o CAL+NPK somente nas estações verão 2 e outono 2. Isso se deve a maior massa de forragem total acumulada com maior massa seca de folha na sua composição, quando comparadas aos tratamentos com *U. decumbens* menos intensificados, clássico efeito de “diluição” (VIANA et al., 2011). No outono 1, a baixa concentração de PB para todos os tratamentos pode ser explicada pela condição da arquitetura do dossel, uma vez que nesta estação foram obtidas as maiores alturas para os tratamentos com *U. decumbens* (Figura 6), com menor participação de folhas e maior de colmos (Tabela 15). Como consequência, houve redução da relação folha: colmo (Tabela 15), o que pode ter contribuído para a redução dos valores de PB nesses tratamentos (Tabela 17).

A maior DIVMS do QCAL+NPK em comparação com os demais tratamentos pode ser explicada pela maior participação de folhas na composição morfológica, quando comparada aos colmos, com relação folha: colmo superior a 7,0 em todas as estações (Tabela 15). Isso demonstra o quanto é importante a manutenção de uma alta proporção de folhas em relação aos colmos, que promove uma maior DIVMS, e evidencia a composição morfológica da planta para caracterizar a qualidade da forragem (MINSON, 1990; VAN SOEST, 1994). Estes resultados evidenciam que não houve um padrão homogêneo de comportamento para a DIVMS em relação aos tratamentos (exceto para CTRL e CAL) durante as estações avaliadas, possivelmente devido às várias interações ocorridas pelas diferenças existentes entre plantas forrageiras e estratégias de intensificação de recuperação pela calagem e adubações e/ou de renovação da pastagem degradada de *U. decumbens*, quando submetida às diferentes condições climáticas destas estações.

Freitas (2019) avaliando a produção de forragem e valor nutritivo de duas cultivares de *M. maximus* (BRS Zuri e BRS Quênia) em pastos adubados com N e K no bioma Mata Atlântica obteve valores médios de 184 g kg⁻¹ de PB e DIVMS de 612 g kg⁻¹ para a cultivar BRS Quênia durante os dois verões avaliados (2016 a 2018). No presente estudo, os valores médios de PB e DIVMS para o tratamento com a cultivar BRS Quênia de *M. maximus* foram de 132 e 734 g kg⁻¹, respectivamente. Estes foram um pouco piores/inferiores àqueles verificados por Freitas (2019) para nutrição animal, possivelmente devido às diferenças metodológicas para obtenção das amostras de valor nutritivo da forragem terem sido feitas por simulação de pastejo pela referida autora.

6 CONCLUSÕES

A associação entre aplicação de calcário superficial às adubações fosfatada, nitrogenada e potássica possui maior efeito na menor profundidade do solo (0 a 5 cm) e promove benefícios em todos os atributos químicos do solo analisadas.

Os atributos físicos do solo não são alteradas em função das estratégias de recuperação e/ou renovação testadas na pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk, mas são influenciadas pelo aumento das profundidades do solo.

A recuperação de pastagem de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk com calagem e adubações de manutenção com N, K e P promove aumento da produção e melhoria da composição morfológica, além do melhor valor nutritivo de sua forragem, na Zona da Mata de Minas Gerais.

A renovação de pastagem degradada de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk com a substituição por *Megathyrsus maximus* cv. BRS Quênia, aliada à calagem e adubação com N, K e P, permite maior produção de forragem com melhor valor nutritivo do que as estratégias de recuperação estudadas.

O *Megathyrsus maximus* cv. BRS Quênia apresentou boa resposta produtiva e qualitativa para renovação de pastagens degradadas de *Urochloa decumbens* em áreas declivosas da Zona da Mata de Minas Gerais sob as condições estudadas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esperava-se que com a utilização de baixos níveis de intensificação para recuperação de pastagens de *Urochloa decumbens* cv. Basilisk, os resultados em geral não seriam tão satisfatórios quanto aqueles obtidos com os tratamentos mais intensificados. No entanto, em condições práticas, é necessário avaliar economicamente se essa intensificação é sustentável a longo prazo em função dos custos das tecnologias de recuperação/renovação. Nesse sentido, a utilização de fertilizantes de maneira racional torna-se fundamental para o sucesso da estratégia de recuperação/renovação escolhida.

A correta identificação das causas da degradação, iniciando pela análise do solo, gera informações para a tomada de decisão da melhor forma de intervenção para recuperação e/ou renovação da pastagem. Além disso, é necessário oferecer condições para que a forrageira se desenvolva, como demonstrado no tratamento mais intensificado com *U. decumbens* cv. Basilisk. Mesmo considerando que a *U. decumbens* cv. Basilisk se desenvolve razoavelmente em solos de baixa fertilidade, a utilização de calcário e fertilizantes promove bom reestabelecimento e aumento do vigor e da produção de sua forragem.

A utilização da pastagem de *U. decumbens* cv. Basilisk de forma leniente em áreas declivosas pode promover o reestabelecimento da forrageira, o aumento da matéria orgânica (via serapilheira) no solo, melhorando a cobertura do solo e protegendo-o contra a lixiviação e perda de nutrientes, promovendo melhoria das condições químicas e físicas do solo.

Seja qual for a tecnologia adotada para recuperação e/ou renovação, quando comparada à abertura de novas áreas para produção de espécies forrageiras para produção animal, os custos serão menores, sendo mais atrativa econômica, social e ambientalmente. Porém, mais estudos devem ser conduzidos com maior tempo de avaliação e sob a inclusão do componente animal para monitorar o desenvolvimento, a produção e a perenidade da BRS Quênia nessas áreas declivosas.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIEC - Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. **Beef Report: Perfil da Pecuária no Brasil**. 2021. Disponível em: <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2021/>. Acesso em: 2 de Novembro de 2021.
- AGOUMÉ, V.; BIRANG, A. Impact of land-use systems on some physical and chemical soil properties of an oxisol in the humid forest zone of southern cameroon. **Tropicultura**, v.27, p.15–20, 2009.
- ALENCAR, C.A.B. de; OLIVEIRA, R.A. de; CÓSER, A.C.; MARTINS, C.E.; CUNHA, F.F.; FIGUEIREDO, J.L. de A.; CECON, P.R.; LEAL, B.G. Valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais irrigadas em diferentes épocas do ano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, p. 20–27, 2010.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v.22, p.711–728. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- ANDRADE, A.C.; FONSECA, D.M. da; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ, V.H.V.; MARTINS, C.E.; SOUZA, D.O.H. Produtividade e valor nutritivo do capim-elefante cv. Napier sob doses crescentes de nitrogênio e potássio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, p.1589-1595, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982000000600001>.
- ANDRADE, J.B. de; BENINTENDE, R.P.; FERRARI JUNIOR, E.; PAULINO, V.T.; HENRIQUE, W.; WERNER, J.C.; MATTOS, H.B. de. Efeito das adubações nitrogenada e potássica na produção e composição de *Brachiaria ruziziensis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, p.617-620, 1996.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 15.ed. Washington: AOAC, 1990. 1298p.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official Methods of Analysis**. 12.ed. Washington: AOAC, 2005. 2100p.
- BAMBOLIM, A.; CAIONE, G.; SOUZA, N.F.; SEBEN, G.D.F.; FERBONINK, G.F. Calcário líquido e calcário convencional na correção da acidez do solo. **Revista de Agropecuária Neotropical**, v.2, p.34–38, 2015. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v2i3.277>.
- BARCELLOS, A. de O.; RAMOS, A.K.B.; VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G.B. Sustentabilidade da produção animal baseada em pastagens consorciadas e no emprego de leguminosas exclusivas, na forma de banco de proteína, nos trópicos brasileiros. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.51-67, 2008.
- BASSO, K.C.; CECATO, U.; LUGÃO, S.M.B.; GOMES, J.A.N.; BARBERO, L.M, MOURÃO, G.B. Morfogênese e dinâmica do perfilhamento em pastos de *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio submetido a doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.11, p.976-989, 2010.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.O. (Eds.) **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.

- BEDASO, N.H.; BEZABIH, M.; TESSEMA, Z.K.; ADIE, A.; KHAN, N.A.; JONES, C.S.; MEKONNEN, K.; WOLDE-MESKEL, E. Effect of fertilizer inputs on productivity and herbage quality of native pasture in degraded tropical grasslands. **Agronomy Journal**, v.113, p.1–12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/agj2.20862>.
- BEHERA, S.K.; SHUKLA, A.K. Spatial distribution of surface soil acidity, electrical conductivity, soil organic carbon content and exchangeable potassium, calcium and magnesium in some cropped acid soils of India. **Land Degradation & Development**, v.26, p.71–79, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.2306>.
- BERÇA, A.S.; CARDOSO, A.D. da S.; LONGHINI, V.Z.; TEDESCHI, L.O.; BODDEY, R.M.; BERNDT, A.; REIS, R.A.; RUGGIERI, A.C. Methane production and nitrogen balance of dairy heifers grazing palisade grass cv. Marandu alone or with forage peanut. **Journal of Animal Science**, v.97, p.4625–4634, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skz310>.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A.; ALMEIDA, E.X.; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem de capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1047-1054, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000500024>.
- BEUTLER, A.N.; BURG, G.M.; SCHMIDT, M.R.; DEAK, E.A.; GALON, L. Liquid lime: effect on soil chemical properties and wheat grain yield. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.21, p.79–83, 2015.
- BIAZATTI, R.M.; BERGAMIN, A.C.; FERREIRA, W.S.; FERREIRA, E. SOUZA, F.R. de; ALMEIDA, P.M. de; DIAS, J.R.M. Fitomassa do Capim-*Braquiária* e atributos químicos de um latossolo sob compactação induzida e doses de calcário. **Brazilian Journal of Development**, v.6, p.55368-55387, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-093>.
- BILOTTO, F.; RECAVARREN, P.; VIBART, R.; MACHADO, C.F. Backgrounding strategy effects on farm productivity, profitability and greenhouse gas emissions of cow-calf systems in the Flooding Pampas of Argentina. **Agricultural Systems**, v.176, p.1-15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102688>.
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C.A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R.M.L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo à penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.975-983, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300007>.
- BONETTI, J.D.A.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.D.; CARNEIRO, M.A.C.; SILVA, G.N.D. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.45, p.104-112, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529625>.
- BONINI, C. dos S.B.; ALVES, M.C. Recovery of soil physical properties by green manure, liming, gypsum and pasture and spontaneous native species. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.1397-1406, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000400034>.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 5. ed. São Paulo: F. Bastos, 1979. 647p.
- BRETAS, I.L.; PACIULLO, D.S.C.; ALVES, B. J.R.; MARTINS, M.R.; CARDOSO, A.L S.; LIMA, M.A.; RODRIGUES, R.A.R.; SILVA, F.F.; CHIZZOTTI, F.H.M. Nitrous oxide, methane, and ammonia emissions from cattle excreta on *Brachiaria decumbens* growing in monoculture or silvopasture with *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis*. **Agriculture ecosystems and environment**, v.295, p.106896-106907, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106896>.

BRIGHENTI, A.M. **Manual de identificação e manejo de plantas daninhas em cultivos de cana-de-açúcar**. Juiz de Fora: Embrapa gado de leite. 2010. 112p.

BRITO, M.R.; SIQUEIRA, F.L.T.; SOUSA, I.J.A. de; SOUSA, R.N. de. Estoque de carbono no solo sob diferentes condições de cerrado. **Revista Desafios**, v.5, p.114-124, 2018. DOI: 10.20873/uft.2359-3652.2018v5nEspecialp114.

BRONICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>.

BURGREVER, J.C.; FREITAS, F.F. de; FISTAROL, T.A.F.; ARAÚJO, F.B. de; SEBEN JÚNIOR, G. de F. Propriedades físicas indicadoras da qualidade do solo sob sistemas de manejo -Alta Floresta. **Revista científica rural**, v.21, p.93-104, 2019. DOI: <https://doi.org/10.30945/rcr-v21i2.361>.

CANARACHE, A. PENETR – a generalized semi-empirical model estimating soil resistance to penetration. **Soil tillage research**, v.16, p.51-70, 1990.

CANO, C.C.P.; CECATO, U.; CANTO, M.W. do; SANTOS, G.T. dos; GALBEIRO, S.; MARTINS, E.N.; MIRA, R.T. Valor nutritivo do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia-1) pastejado em diferentes alturas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.1959-1968, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982004000800006>.

CANTO, A.C.B.; CORDEIRO, F.R.; FONTANA, A. **Densidade do solo e volume total de poros do solo em plantio direto na região Sudoeste Goiano**. Rio de Janeiro: Embrapa solos: 2018. 71p. (Embrapa Solos. Documentos, 194).

CARDOSO, A.S.; BERNDT, A.; LEYTEM, A.; ALVES, B.J.; CARVALHO, I.D.N. de; SOARES, L.H.B.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Impact of the intensification of beef production in Brazil on greenhouse gas emissions and land use. **Agricultural Systems**, v.143, p.86-96, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.12.007>.

CARDOSO, A. da S.; BARBERO, R.P.; ROMANZINI, E.P.; TEOBALDO, R.W.; ONGARATTO, F.; FERNANDES, M.H.M. da R.; REIS, R.A. Intensification: a key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in *Brachiaria* grasslands. **Sustainability**, v.12, p.1-17, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12166656>.

CARMEIS FILHO, A.C.A.; CRUSCIOL, C.A.C.; GUIMARÃES, T.M.; CALONEGO, J.C.; COSTA, C.H.M. Changes in soil physical properties and carbon protection mechanisms by surface application of lime in a tropical no-tillage system. **Soil Science Society of America Journal**, v.82, p.56-65, 2018. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.04.0120>.

CARNEVALLI, R.A.; SILVA, S.C.; BUENO, A.A.O.; UEBELE, M.C.; BUENO, F.O.; HODGSON, J.; SILVA, G.N.; MORAIS, J.P.G. Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing managements. **Tropical Grasslands**, v.40, p.165-176, 2006.

CARVALHO, A.M. de; MARCHÃO, R.L.; SOUZA, K.W.; BUSTAMANTE, M. M. da C. Soil fertility status, carbon and nitrogen stocks under cover crops and tillage regimes. **Revista Ciência Agrônômica**, v.45, p.914-921, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000500007>.

CARVALHO, J.L.N.; RAUCCI, G.S.; CERRI, C.E.P.; BERNOUX, M.; FEIGL, B.J.; WRUCK, F.J.; CERRI, C.E.P. Impact of pasture, agriculture and crop-livestock systems on soil C stocks in Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.110, p.175-186, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.07.011>.

CAVALLI, J. **Estratégias de manejo do pastejo para *Panicum maximum* cvs. Quênia e Tamani**. 2016. 83p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Mato Grosso, Mato Grosso.

CFSEMG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 359p.

CIVARDI, E.A.; SILVEIRA NETO, A.N.; RAGAGNIN, V.A.; GODOY, E.R.; BROD, E. Uréia de liberação lenta aplicada superficialmente e ureia comum incorporada ao solo no rendimento do milho. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, p.52-59, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i1.8146>.

CHAPMAN, D.F.; LEMAIRE, G. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 17., 1993, Covington. **Proceedings**. Covington: The Forage and Grassland Foundation, 1993. p.95-104.

COSTA, C. H. M. da; CRUSCIOL, C.A.C.; FERRARI NETO, J.; CASTRO, G.S.A. Residual effects of superficial liming on tropical soil under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1633–1642, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900063>.

COSTA, K.A. de P.; OLIVEIRA, I.P. de. **Adução nitrogenada para pastagens do gênero *Brachiaria* em solos do Cerrado**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão: 2006. 60p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 192).

COSTA, N.de L. **Formação, manejo e recuperação de pastagens em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 1 ed. 2004. 219p.

COSTA, N. de L.; PAULINO, V.T.; MAGALHÃES, J.A.; RODRIGUES, A.N.A.; BENDAHAN, A.B.; NASCIMENTO, L.E. da S.; FERNANDES, R.C.P. Resposta de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés a níveis de calagem. **Pubvet**, v.6, p.1338-1444, 2012a.

COSTA, M.A.T.; TORMENA, C.A.; LUGÃO, S.M.B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W.G.; MEDEIROS, F.M. Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, p.993-1004, 2012b. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000300029>.

COSTA, N.R.; ANDREOTTI, M.; LOPES, K.S.M.; YOKOBATAKE, K.L.; FERREIRA, J.P.; PARIZ, C.M.; LONGHINI, V.Z. Atributos do solo e acúmulo de carbono na integração lavoura-pecuária em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.852–863. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140269>.

COSTA, S.E.V.G. de A.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V. de.; SILVA, T.O. da.; SILVA, T.R. da. Crescimento e nutrição da Braquiária em função de fontes de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, p.1419-1427, 2008.

CUSTÓDIO, G.D.; RIBON, A.A.; FERNANDES, K.L.; HERMÓGENES, V.T.L.; BARROS, L.R. Densidade do solo e densidade relativa-indicadores da qualidade física de um latossolo amarelo sob diferentes manejos de pastagens e mata nativa. **Campo Digital**, v.10, p.50-62, 2015.

D'AUREA, A.P.; CARDOSO, A.S.; GUIMARÃES, Y.S.R.; FERNANDES, L.B.; FERREIRA, L.E.; REIS, R.A. Mitigating greenhouse gas emissions from beef cattle production in Brazil through animal management. **Sustainability**, v.13, p.1-9, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13137207>.

- DELEVATTI, L.M.; CARDOSO, A.S.; BARBERO, R.P.; LEITE, R.G.; ROMANZINI, E.P.; RUGGIERI, A.C.; REIS, R.A. Effect of nitrogen application rate on yield, forage quality, and animal performance in a tropical pasture. **Scientific Reports**, v.9, p.1-9, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44138-x>.
- DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 2.ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 173p.
- DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 3.ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 190p.
- DIAS-FILHO, M.B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4.ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 2011. 215p.
- DIAS-FILHO, M.B. **Estratégias de recuperação de pastagens degradadas na Amazônia brasileira**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental: 2015. 25p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 411).
- DIFANTE, G.S.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SILVA, S.C. da; EUCLIDES, V.P.B.; MONTAGNER, D.B.; SILVEIRA, C.T.; PENA, K.S. Características morfológicas e estruturais do capim-Marandu submetido a combinações de alturas e intervalos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.955-963, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000500003>.
- EBERHARDT, D.N.; VENDRAME, P.R.S.; BECQUER, T.; GUIMARÃES, M.F. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em latossolos sob pastagens no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1009–1016, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832008000300010>.
- EDMEADES, D.C. The magnesium requirements of pastures in New Zealand: A review. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.47, p.363-380, 2004. DOI:10.1080/00288233.2004.9513605.
- EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; ZIMMER, A.H.; JANK, L.; OLIVEIRA, M.P. Avaliação dos capins Mombaça e Massai sob pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.18-26, 2008. DOI: 10.1590/S1516-35982008000100003.
- EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M.; VALLE, C.B.; DIFANTE, G.S.; BARBOSA, R.A.; CACERE, E.R. Valor nutritivo da forragem e produção animal em pastagens de *Brachiaria brizantha*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.98–106, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2009000100014>.
- EUCLIDES, V.P.B.; VALLE, C.B.; MACEDO, M.C.M.; ALMEIDA, R.G.D.; MONTAGNER, D.B.; BARBOSA, R.A. Brazilian scientific progress in pasture research during the first decade of XXI century. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.151-168, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300018>.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas - Princípios e perspectivas**. São Paulo: Ed. S.A, 1975. 341p.
- FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M.; GOMIDE, J.A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; VITOR, C.M.T.; MORAIS, R.V.; MISTURA, C.; REIS, G.C.; MARTUSCELLO, J. de A. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.397-403, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000400012>.

FAGUNDES, J.L.; FONSECA, D.M.; MISTURA, C.; MORAIS, R.V.; VITOR, C.M.T; GOMIDE, J.A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; COSTA, L.T. Características morfogênicas e estruturais do capim-braquiária em pastagem adubada com nitrogênio avaliadas nas quatro estações do ano. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.21-29, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982006000100003>.

FERRAZ, J.V. Uma visão do futuro: a pecuária brasileira daqui a 10 anos. In: ANUALPEC 2008, São Paulo. **Anuário da pecuária brasileira**. São Paulo: Instituto FNP, 2008. p.22-32.

FERREIRA, R.R.M.; FILHO, J.T.; FERREIRA, V.M. Efeitos de sistemas de manejo de pastagens nas propriedades físicas do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.31, p.913-932, 2010.

FREITAS, C.A.S. **Valor nutritivo, produção de leite e dinâmica de serrapilheira em pastos de *Megathyrus maximus***. 2019, 99p. Tese. (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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. **Unimar Ciências**, v.26, p.8-25, 2017.

GODDE, C.M.; DE BOER, I.J.M.; ERMGASSEN, E.Z.; HERRERO, M.; VAN MIDDELAAR, C.E.; MULLER, A.; RÖÖS, E.; SCHADER, C.; SMITH, P.; VAN ZANTEN, H.H.E.; GARNETT, T. Soil carbon sequestration in grazing systems: Managing expectations. **Climatic Change**, v.161, p.385-391, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02673-x>.

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; ANGERS, D.A.; MONREAL, C.M.; ELLERT, B.H. Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v.74, p.367-385, 1994. DOI: <https://doi.org/10.4141/cjss94-051>.

GURGEL, A.L.C. **Interação solo-planta-animal em pastos de capim-mombaça sob efeito residual do nitrogênio**. 2019. 56p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Macaíba.

HAYNES, R.J.; NAIDU, R. Influence of lime, fertilizer and manure applications on soil organic matter content and soil physical conditions: a review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.51, p.123-137, 1998. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1009738307837>.

HOESCHL, A.R.; CANTO, M.W.; BONA FILHO, A.; MORAES, A. Produção de forragem e perfilhamento em pastos de capim Tanzânia-1 adubados com doses de nitrogênio. **Scientia Agraria**, v.8, p.81-86, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v8i1.8346>.

HOLDEN, L.A. Comparison of methods of *in vitro* dry matter digestibility for ten feeds. **Journal of Dairy Science**, v.82, p.1791-1794, 1999. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75409-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75409-3).

HOLFORD, I.C.R.; MATTINGLY, G.E.G. Effects of phosphate buffering on the of labile phosphate by soil test. **Australian Journal of Soil Research**, v.17, p.377-380, 1979.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário brasileiro: resultados preliminares**. 2018. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=73093>. Acesso em: 17 de Setembro de 2021.

ICT International. **AccuPAR PAR/LAI Ceptometer. Model LP-80. Operator's Manual** 2013. Disponível em: <<https://ictinternational.com/content/uploads/2014/03/AccuPAR-LP-80-Manual.pdf>> Acesso em 10 de Out 2021.

ICT International. **MP 406 Moisture Probe Operation Manual**. Version 1.3, 2017. Disponível em: <<http://au.ictinternational.com/support/product-manuals/>> Acesso em 13 de Out 2021.

JANK, L. Melhoramento e seleção de variedades de *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., 1995, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p.21-58.

JANK, L.; VALLE, C.B. do; CARVALHO, J. de; CALIXTO, S. Evaluation of guineagrass (*Panicum maximum* Jacq) hybrids in Brazil. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001. Piracicaba. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ. 2001. p.1-8.

JANK, L.; ANDRADE, C.M.S.; BARBOSA, R.A.; MACEDO, M.C.M.; VALÉRIO, J.R.; VERZIGNASSI, J.; ZIMMER, A.H.; FERNANDES, C.D.; SANTOS, M.F.; SIMEÃO, R.M. **O capim-BRS Quênia (*Panicum maximum* Jacq.) na diversificação e intensificação das pastagens**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte: 2017. 18p. (Embrapa Gado de Corte. Comunicado técnico, 138).

JANTALIA, C.P.; TARRE, R.M.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Acumulação de carbono no solo em pastagens de *Brachiaria*. In: ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; AITA, C.; BODDEY, R.M.; JANTALIA, C.P.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Manejo de Sistemas Agrícolas: Impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa**. Porto Alegre: Gênese, 2006. p.157-170.

JIMENEZ, R.L.; GONÇALVES, W.G.; ARAÚJO FILHO, J.V. de; ASSIS, R.L. de; PIRES, F.R.; SILVA, G.P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um latossolo vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.116–121. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1415-43662008000200002>.

KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R. dos; GATIBONI L.C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L.S. da. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.573-580, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400010>.

KHAN, Z.I.; ASHRAF, M.; HUSSAIN, A. Evaluation of macro mineral contents of forages: influence of pasture and seasonal variation. **Asian Australasian Association of Animal Production Societies**, v.20, p.908-913, 2007.

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Ed. Ceres, 1979. 263p.

LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, v.116, p.353-362, 2002.

LANGE, A.; BUCHELT, A.C.; BORSA, C.D.; CAPELETTI, M.E.; SCHONINGER, E.L.; ZANDONADI, R.S. Uso de corretivos e fertilizantes em pastagem no bioma amazônico. **Nativa**, v.6, p.631-638, 2018. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i6.6330>.

LANZANOVA, M.E.; NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; ELTZ, F.L.F.; AMADO, T.J.C.; REINERT, D.J. Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1131-1140, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500028>.

LAZZARINI, I.; DETMANN, E.; SAMPAIO, C.B.I.; PAULINO, M.F.; VALADARES FILHO, S. de C.; SOUZA, M.A.; OLIVEIRA, F.A. Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.2021–2030, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009001000024>.

LEMAIRE, G.; GASTAL, F. Quantifying crop responses to nitrogen deficiency and avenues to improve nitrogen use efficiency. In: SADRAS, V., CALDERINI, D.F (Ed.). **Crop physiology: applications for genetic improvement and agronomy**. San Diego: Ed. Academic Press, 2009. p.171–211.

LIMA, C.L.R.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; SILVA, J.B. Estabilidade de agregados de um Planossolo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, p.199-205, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000100021>.

LIMA, C.G.R.; CARVALHO, M.P.; MELLO, L.M.M.; LIMA, R.C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1233-1244, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000600002>.

LIMA, E.V.; TAVARES, J.C.S.; SILVA, E.C.; LEITÃO-LIMA, P.S. Superfosfato triplo como via de distribuição de sementes de *Brachiaria brizantha* para renovação de pastagens na Amazônia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.796-800, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000500003>.

LISBOA, F.M.; DONAGEMMA, G.H.; BURAK, D.L.; PASSOS, R.R.; MENDONÇA, E.S. Indicadores de qualidade de Latossolo relacionados à degradação de pastagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1184-1193, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900018>.

LOPES, C.M.; PACIULLO, D.S.C.; ARAÚJO, S.A.C.; GOMIDE, C.A. de M.; MORENZ, M.J.F.; VILLELA, S.D.J. Massa da forragem, composição morfológica e valor nutritivo do capim-braquiária, submetido a níveis de sombreamento e fertilização. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.69, p.225–233, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-9201>.

MADARI, B.E.; CUNHA, T.J.F.; NOVOTNY, E.H.; MILORI, D.M.B.P.; MARTINS NETO, L.; BENITES, V.M.; COELHO, M.R.; SANTOS, G.A. Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra preta de índio): Suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W.G.; KERN, D.C.; MADARI, B.E.; LIMA, H.N.; WOODS, W. (Eds.). **As terras pretas de índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p.172-188.

MAGALHÃES, A.F.; PIRES, A.J.V.; CARVALHO, G.G.P. de; SILVA, F.F. da; SOUSA, R.S.; VELOSO, C.M. Influência do nitrogênio e do fósforo na produção do capim-braquiária. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.1240-1246, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007000600004>.

MAGALHÃES J.; CARNEIRO, M.; ANDRADE, A.; PEREIRA, E.S.; RODRIGUES, B.H.N.; COSTA, N.L.; FOGAÇA, F.H.S.; CASTRO, K.N.C.; TOWNSEND, C.R. Composição bromatológica do capim-Marandu sob efeito de irrigação e adubação nitrogenada. **Semina: Ciências Agrárias**, v.36, p.933-942, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2015v36n2p933>.

- MARTUSCELLO, J.A.; JANK, L.; GONTIJO NETO, M.M.; LAURA, V.A.; CUNHA, D. de N.F.V. da. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.1183–1190, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982009000700004>.
- MARTUSCELLO, J.A.; RIBEIRO, Y.N.; BRAZ, T.G.S.; FERREIRA, M.R.; ASSIS, J.A.; JANK, L.; REIS, G.A. Produção de forragem, morfogênese e eficiência agrônômica do adubo em capim BRS Quênia sob doses de nitrogênio. **Boletim de Indústria Animal (Impresso)**, v.75, p.1-12, 2018. DOI: <https://doi.org/10.17523/bia.2018.v75.e1411>.
- MARTUSCELLO, J.A.; RIOS, J.; FERREIRA, M.; ASSIS, J.; BRAZ, T.; CUNHA, D. Produção e morfogênese de capim BRS Tamani sob diferentes doses de nitrogênio e intensidades de desfolhação. **Boletim de Indústria Animal**, v.76, p.1-10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17523/bia.2019.v76.e1441>.
- MELO, A.F.; TEIXEIRA, M.B.; SANTOS, E.A. dos; JESUS, T.F. de; CABRAL FILHO, F. R.; CUNHA, F.N.; VIDAL, V.M.; SOARES, F.A.L.; TEIXEIRA FILHO, M.C.M.; ARAUJO, L.C. de; LAURENTIZ, A.C. de; FERNANDES, P.B.; SILVA, E.C. da. Productive performance of *Brachiaria* (syn. *Urochloa*) brizantha cultivars under organic fertilization. **Research, Society and Development**, v.10, p.1-19, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16212>.
- MINSON, D.J. **Forage in ruminant nutrition**. San Diego: Academic Press, 1990. 483p.
- MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A.; ZIGLIO, C.O.; FRANCHINI, J.C. Reduction of exchangeable calcium and magnesium in soil with increasing Ph. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.44, p.149-153, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132001000200007>.
- MONTEIRO, F.A.; RAMOS, A.K.B.; CARVALHO, D.D.; ABREU, J.B.R. de; DAIUB, J.A.S.; SILVA, J.E.P. da; NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agricola**, v.52, p.135-141, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90161995000100022>.
- MOORE, J.E. Forage quality indices: development and applications. In: FAHEY, G. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.967-998.
- MORAES, A.; MARASCHIN, G.E. Pressões de pastejo e produção animal em milho cv. comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p.197-205, 1988.
- MOREIRA, L.M.; FONSECA, D.M.; VÍTOR, C.M.T.; ASSIS, A.J.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; RIBEIRO JÚNIOR, J.I.; OBEID, J.A. Renovação de pastagem degradada de capim-gordura com a introdução de forrageiras tropicais adubadas com nitrogênio ou em consórcios. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.442-453, 2005a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982005000200011>.
- MOREIRA, J.A.A.; OLIVEIRA, I.P. de; GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F. Atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho distrófico sob pastagens recuperada e degradada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, p.155-161, 2005b.
- MOREIRA, L. de M.; MARTUSCELLO, J.A.; FONSECA, D.M. da; MISTURA, C.; MORAIS, R.V. de; RIBEIRO JÚNIOR, J.I. Perfilhamento, acúmulo de forragem e composição bromatológica do capim-braquiária adubado com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, p.1675-1684, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982009000900006>.
- MOREIRA, H.J. da C.; BRAGANÇA, H.B.N. **Manual de identificação de plantas infestantes**: hortifrúti. São Paulo: FMC Agricultural Products, 2011. 1017p.

- MOURA, A.M.; TOMICH.; T.R.; PEREIRA, L.G.R.; TEIXEIRA, A.M.; PACIULLO, D.S.C.; JAYME, D.G.; MACHADO, F.S.; GOMIDE, C.A.M.; CAMPOS, M.M.; CHAVES, A.V.; GONÇALVES, L.C. Pasture productivity and quality of *Urochloa brizantha* cultivar Marandu evaluated at two grazing intervals and their impact on milk production. **Animal Production Science**, v.57, p.1384-1391, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN16715>.
- MULLER, M.M.L.; GUIMARÃES, M. de F.; DESJARDINS, T.; MARTINS, P.F. da S. Degradação de pastagens na Região Amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1409-1418, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001001100012>.
- NASCIMENTO JÚNIOR, D.; QUEIROZ, D.S.; SANTOS, M.V.F. Degradação das pastagens e critérios para avaliação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DAS PASTAGENS, 11., 1994, Piracicaba. **Anais**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1994. p.107-152.
- NELSON, C.J.; MOSER, L.E. Plant factors affecting forage quality. In: FAHEY, G. (Ed.). **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.115-154.
- NOVAK, E.; CARVALHO, L.A.; SANTIAGO, E.F.; FERREIRA, F.S.; MAESTRE, M.R. Composição química do solo em diferentes condições ambientais. **Ciência Florestal**, v.31, p. 1063-1085, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509828995>.
- OLIVEIRA, A.R.F.; ARAUJO, L.C. de; LUDKIEWICZ, M.G.Z.; ZAGATO, L.Q.S.D.; GALINDO, F.S.; MARUNO, T.C. Produtividade, composição morfológica e químico-bromatológica do capim-marandu consorciado com sorgo forrageiro para renovação de pastagem degradada no Cerrado. **Revista Cultura Agrônômica**, v.26, p.69-81, 2017. DOI: <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2017v26n1p69-81>.
- OLIVEIRA, D.A. de; BONFIM-SILVA, E.M.; SILVEIRA, C.P.; MONTEIRO, F.A. Valor nutritivo do capim-braquiária no primeiro ano de recuperação com aplicações de nitrogênio e enxofre. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.716-726, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1516-35982010000400004>.
- OLIVEIRA, J.T.; MOREAU, A.M.S.S.; PAIVA, A.Q.; MENEZES, A.A.; COSTA, O.V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2821-2829, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0100-06832008000700028>.
- OLSON, K.R.; GENNADIYEV, A.N.; ZHIDKIN, A.P.; MARKELOV, M.V. Impacts of land-use change, slope, and erosion on soil organic carbon retention and storage. **Soil Science**, v.177, p.269-278, 2012. DOI: [.1097/SS.0b013e318244d8d2](https://doi.org/10.1097/SS.0b013e318244d8d2).
- OSTLE, N.J.; LEVY, P.E.; EVANS, C.D.; SMITH, P. UK land use and soil carbon sequestration. **Land Use Policy**, v.26, p.274-283, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.08.006>.
- PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A. de M. As contribuições de *Brachiaria* e *Panicum* para a pecuária leiteira. In: VILELA, D.; FERREIRA, R. de P.; FERNANDES, E.N.; JUNTOLLI, F.V. (Ed.). **Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa, 2016, p.167-186.
- PACIULLO, D.S.C.; LEITE, J.L.B.; RESENDE, H. Tecnologia e custo de produção de *Brachiaria decumbens* para uso sob pastejo. Embrapa Gado de Leite, 2016. 6p. (Circular Técnica, 111).

- PAIVA, A.J.; SILVA, S.C. da; PEREIRA, L.E.T.; GUARDA, V.D.; PEREIRA, P. de M.; CAMINHA, F.O. Structural characteristics of tiller age categories of continuously stocked Marandu palisade grass swards fertilized with nitrogen. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, p.24-29, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982012000100004>.
- PANACHUKI, E.; SOBRINHO, T.A.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F.; URCHEI, M.A. Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.261-268, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200003>.
- PAULINO, P. da S. **Atributos físicos como indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo no estado de Santa Catarina**. 2013. 93p. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S.; SILVA, S.C. da. Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar Xaraés em resposta a estratégias de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.281-287, 2007. DOI: [10.1590/S0100-204X2007000200018](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000200018).
- PERON, A.J.; EVANGELISTA, A.R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.28, p.655-661, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542004000300023>.
- PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, M.G.; ANJOS, L.H.C. Aggregate distribution and soil organic matter under different tillage systems for vegetable crops in a Red Latosol from Brazil. **Soil Tillage Research**, v.77, p.79-84, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.11.005>.
- PORTUGAL, A.F.; COSTA, O.D.V.; COSTA, L.M. da. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata Mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.575-585, 2010. DOI: [10.1590/S0100-06832010000200032](https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200032).
- PREZOTTI, L.C.; DEFELIPO, B.V.; VENEGAS, V.H.A.; BARROS, N.F. Nível crítico de potássio no solo para a produção de mudas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.65-70. 1988.
- 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. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. v.5. p.49-134.
- REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; REICHERT, J.M.; AITA, C.; ANDRADA, M.M.C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em argissolo vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1805-1816, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500002>.
- RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E.C.; GATIBONI, L.C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.797-805, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000400012>.
- RIBEIRO, K.D.; MENEZES, S.M.; MESQUITA, M. da G.B. de F.; SAMPAIO, F. de M.T. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 1167-1175, 2007.

RIBEIRO, M.R.; OLIVEIRA, L.B.; ARAÚJO FILHO, J.C. Caracterização morfológica do solo. In: KER, J.C.; CURTI, N.; SCHAEFER, C.E.G.; VIDAL-TORRADO, P. (Ed.). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: SBCS, 2012. p.48-78.

ROCHA JÚNIOR, P.R. **Indicadores de qualidade do solo e determinação de níveis de degradação de pastagens**. 2012. 135p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.

ROCHA JÚNIOR, P.R.; DONAGEMMA, G.K.; ANDRADE, F.V.; PASSOS, R.R.; COSTA, A.S.V.; RUIZ, H.A. Field-based quality indicators in degraded pasture of the Atlantic forest biome. **Australian Journal of Crop Science**, v.11, p.652-661, 2016a. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.17.11.06.p326>.

ROCHA JÚNIOR, P.R.; ANDRADE, F.V.; MENDONÇA, E.S.; DONAGEMMA, G.K.; FERNANDES, R.B.A.; BHATTARAI, R.; KALITA, P.K. Soil, water, and nutrient losses from management alternatives for degraded pasture in Brazilian Atlantic Rainforest biome, **Science of the Total Environment**, v.1, p.53-63, 2016b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.187>.

RODRIGUES, M.; RABÊLO, F.H.S.; CASTRO, H.A. de; ROBOREDO, D.; CARVALHO, M.A.C. de; ROQUE, C.G. Changes in chemical properties by use and management of an Oxisol in the Amazon biome. **Revista Caatinga**, v.30, p.278-286, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n202rc>.

ROMÃO, R.L. **Carbono orgânico em função do uso do solo**. 2012. 36p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite: 2010. 26p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

RUDEL, T.K.; PAUL, B.; WHITE, D.; RAO, I.M.; VAN DER HOEK, R.; CASTRO, A.; PETERS, M. LivestockPlus: Forages, sustainable intensification, and food security in the tropics. **Ambio**, v.44, p.685–693, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0676-2>.

RUGGIERI, A.C.; FAVORETTO, V.; MALHEIROS, E.B. Efeito de níveis de nitrogênio e regimes de corte na distribuição, na composição bromatológica e na digestibilidade in vitro da matéria seca da *Brachiaria brizantha* (HOCHST) Stapf. Cv. Marandu. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.24, p.21-30, 1995.

RUGGIERI, A.C.; CARDOSO, A.S.; ONGARATTO, F.; CASAGRANDE, D.R.; BARBERO, R.P.; BRITO, L.D.F.; AZENHA, M.V.; OLIVEIRA, A.A.; KOSCHECK, J.F.W.; REIS, R.A. Grazing intensity impacts on herbage mass, sward structure, greenhouse gas emissions, and animal performance: analysis of *Brachiaria* pastureland. **Agronomy**, v.10, p.1-19, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111750>.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRICIO, 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>.

SANT'ANNA, S.A.C. de; JANTALIA, C.P.; SÁ, J.M.; VILELA, L.; MARCHÃO, R.L.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Changes in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/livestock systems in the Brazilian Cerrado. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.106, p.101–120, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9812-z>.

SANTOS, Í.P.A. dos; PINTO, J.C.; NETO, A.E.F.; MORAIS, A.R. de; MESQUITA, E.E.; FARIA, D.J.G.; ROCHA, G.P. Frações de fósforo em gramíneas forrageiras tropicais sob fontes e doses de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, p.961-970, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000500021>.

SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.32, p.576-586, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000200049>.

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.ed. Brasília: Embrapa, 2018. 356p.

SANTOS, C.A. dos; REZENDE, C.D.P.; PINHEIRO, E.F.M.; PEREIRA, J.M.; ALVES, B.J.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Changes in soil carbon stocks after land-use change from native vegetation to pastures in the Atlantic forest region of Brazil. **Geoderma**, v.337, p.394-401, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.09.045>.

SANTOS, R.D. dos; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7.ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 101p.

SAS. **SAS Institute**, version 9.4, Inc., Cary, NC, USA, 2013. SAS Institute, North Carolina, US).

SCHNYDER, R.H.; SCHÄUFELE, R.; VISSER, R.; NELSON, C.J. An integrated view of C and N uses in leaf growth zones of defoliated grasses. In: LEMAIRE, G.; HODGSON, J.; MORAES, A. de; NABINGER, C.; CARVALHO, P.C. de F. (Eds.). **Grassland ecophysiology and grazing ecology**. Cambridge: CAB International, 2000. p.41-60.

SILVA, M.A.S. da; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ROSA, J.D. BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.329-337, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832006000200013>.

SILVA, S.C. da; NASCIMENTO JÚNIOR, D. Avanços na pesquisa com plantas forrageiras tropicais em pastagens: características morfofisiológicas e manejo do pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.121-138, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982007001000014>.

SILVA, R. de O.; BARIONI, L.G.; HALL, J.A.J.; MORETTI, A.C.; VELOSO, R.F.; ALEXANDER, P.; CRESPOLINI, M.; MORAN, D. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. **Agricultural Systems**, v.153, p.201-211, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2017.02.001>.

SILVA, A. da; 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, 2018a. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v5i2.1382>.

SILVA, J.A.N.; SILVA, C.J.; ALMEIDA, R.G. de; HONORATO, C.A. Desempenho de novilha nelore em pastagem degradada submetida a diferentes processos de recuperação e renovação. **Revista Agrarian**, v.11, p.260-266, 2018b. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v11i41.8262>.

- SILVA, P.H.F.; ANJOS, A.N.A.; VIEGAS, C.R.; MORAIS, L.F.; NEPOMUCENO, D.D.; CARVALHO, C.A.B. Procedimentos para estimar massa de forragem, interceptação luminosa e índice de área foliar em pastos de capim-Tanzânia. **Archivos de Zootecnia**, v.67, p.404-407, 2018c. DOI: <https://doi.org/10.21071/az.v67i259.3797>.
- SILVA, L.L.; RIBON, A.A.; BACKES, C.; LOPES, L.C.A.; MAGALHÃES, A.F. Atributos físicos do solo e produtividade da pastagem em sistema de manejo de integração Lavoura-Pecuária-Floresta. **Scientific Electronic Archives**. v.14, p.88-102, 2021. DOI: <https://doi.org/10.36560/141120211445>.
- SILVA, M.I.L.; NASCIMENTO, W.G.; RODRIGUES, C.R.; SILVA, M.A.V.; SOARES, G.S.C. Silicon as an attenuator of salt stress in *Brachiaria brizantha* 'MG5'. **Revista Ciência Agrônômica**, v.49, p.130-140, 2018d. DOI: [doi:10.5935/1806-6690.20180015](https://doi.org/10.5935/1806-6690.20180015).
- SILVEIRA, M.L.; LIU, K.; SOLLENBERGER, L.E.; FOLLETT, R.F.; VENDRAMINI, J.M.B. Short-term effects of grazing intensity and nitrogen fertilization on soil organic carbon pools under perennial grass pastures in the southeastern USA. **Soil Biology & Biochemistry**, v.58, p.42-49, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2012.11.003>.
- SCHULTZ, N.; PINTO, L.A. da S.R.; LIMA, S.S. de; ZIVIANI, M.M.; ASSUNÇÃO, S.A.; PEREIRA, M.G. Agregação do solo e atributos químicos em áreas com diferentes coberturas vegetais. In: TULLIO, L. (Ed.). **Características do Solo e sua Interação com as Plantas 2**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. p.1-12.
- SOARES FILHO, C.V.; MONTEIRO, F.A.; CORSI, M. Recuperação de pastagens degradadas de *Braquiária decumbens*. 1. Efeito de diferentes tratamentos de fertilização e manejo. **Revista Pasturas Tropicais**, v.14, p.2-6, 1992.
- SOARES FILHO, C.V.; RODRIGUES, L.R.A.; PERRI, S.H.V. Produção e valor nutritivo de dez gramíneas forrageiras na região Noroeste do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.24, p.1377-1384, 2008.
- SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. **Cerrado: Correção do solo e adubação**. 2.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 420p.
- SOUZA, E.D. de. **Evolução da matéria orgânica, do fósforo e da agregação do solo em sistema de integração agricultura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidade de pastejo**. 2008. 163p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SOUZA, F.M.; LEMOS, B.J.M.; OLIVEIRA JUNIOR, R.C.; MAGNABOSCO, C.U.; CASTRO, L.M.; LOPES, F.B.; BRUNES, L.C. Introdução de leguminosas forrageiras, calagem e fosfatagem em pastagem degradada de *Brachiaria brizantha*. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.17, p.355-364, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402016000300003>.
- SPAIN, J.M.; GUALDRÓN, R. Degradación y rehabilitación de pasturas. In: LASCANO, C.; SPAIN, J.M. (Ed.). **Establecimiento y renovación de pasturas: conceptos, experiencias y enfoque de la investigación**. Veracruz: CIAT, 1988. p.347-383.
- STODDART, L.A.; SMITH, A.D.; BOX, T.W. **Range management**. 3.ed. New York: McGraw-Hill Book, 1975. 531p.
- STOLF, R.; MURAKAMI, J.H.; BRUGNARO, C.; SILVA, L.G.; SILVA, L.C.F.; MARGARIDO, L.A.C. Penetrômetro de impacto Stolf - programa computacional de dados em EXCEL-VBA. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.774-782, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000300009>.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p.
- TAN, Z.X.; LAL, R.; WIEBE, K.D. Global soil nutrient depletion and yield reduction. **Journal of Sustainable Agriculture**, v.26, p.123-146, 2005. DOI: https://doi.org/10.1300/J064v26n01_10.
- TARRÉ, R.M.; MACEDO, R.; CANTARUTTI, R.B.; REZENDE, C.P.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. The effect of the presence of a forage legume on nitrogen and carbon levels in soils under *Brachiaria* pastures in the Atlantic forest region of the South of Bahia, Brazil. **Plant Soil**, v.234, p.15–26, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1010533721740>.
- TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3.ed. Brasília: Embrapa, 2017. 573p.
- TEZOLIN, T. de A.; MONTEIRO, F. das N.; FALCÃO, K. dos S.; MENEZES, R. da S.; XIMENES, T.S.; PANACHUKI, E.; CARVALHO, L.A. de. Atributos físicos do solo em diferentes sistemas de produção agropecuária. **Research, Society and Development**, v.10, p.1-15, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11278>.
- THORNTHWAIT, C.W.; MATHER, R.J. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955. 690p.
- TILLEY, J.A.; TERRY, A.R. A two stages technique for in vitro digestion of forages crops. **Journal of British Grassland Society**, v.18, p.104-111, 1963.
- TORRES, J.L.R.; RODRIGUES JÚNIOR, D.J.; VIEIRA, D.M.S. Alterações nos atributos físicos do solo em função da irrigação e do pastejo rotacionado. **Irriga**, v.18, p.558-571, 2013. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2013v18n3p558>.
- TOWNSEND, C.R.; COSTA, N. de L.; PEREIRA, R.G. de A. **Recuperação e práticas sustentáveis de manejo de pastagens na Amazônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia: 2012. 23p. (Embrapa Rondônia. Documentos, 148).
- VALOTE, P.D.; CARVALHO, C.A.B. de; FREITAS, C.A.S.; MORENZ, M.J.F.; PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A. de M. Forage mass and canopy structure of Zuri and Quênia guineagrasses pasture under rotational stocking. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.50, p.1-12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.37496/rbz5020200225>.
- VAN SOEST, P.J. Symposium on factors influencing the voluntary intake of herbage by ruminants: voluntary intake relation to chemical composition and digestibility. **Journal of Dairy Science**, v.24, p.834-844, 1965. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas1965.243834x>.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and no starch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3583-3597, 1991. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.
- VIANA, M.C.M.; FREIRE, F.M.; FERREIRA, J.J.; MACÊDO, G.A.R.; CANTARUTTI, R.B.; MASCARENHAS, M.H.T. Adubação nitrogenada na produção e composição química do capimbraquiária sob pastejo rotacionado. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.40, p.1497-1503, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000700014>.
- VICENTE-CHANDLER, J.; PEARSON, R.W.; ABRUÑA, F.; SILVA, S. Potassium fertilization of intensively manage grasses under humid tropical conditions. **Agronomy**

Journal, v.54, p.450-453, 1962. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400050023x>.

VICENTE, L.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Soil carbon stocks of Ultisols under different land use in the Atlantic rainforest zone of Brazil. **Geoderma Regional**, v.7, p.330–337, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2016.06.003>.

VILELA, L.; MARTHA JÚNIOR, G.B.; SOUSA, D.M.G. de. **Efeito de adubação anual com nitrogênio e fósforo no desempenho produtivo de bovinos em recria em *Urochloa decumbens* cv. Basilisk**. Planaltina: Embrapa Cerrados: 2020. 22p. (Embrapa Cerrados. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 361).

VINHA, A.P.C.; CARRARA, B.H.; SOUZA, E.F.S.; SANTOS, J.A.F. dos; ARANTES, S.A.C.M. Adsorção de fósforo em solos de regiões tropicais. **Nativa**, v.9, p.30-35, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.10973>.

VOLPE, E.; MARCHETTI, M.E.; MACEDO, M.C.M.; ROSA JÚNIOR, E.J. Renovação de pastagem degradada com calagem, adubação e leguminosa consorciada em Neossolo Quartzarênico. **Acta Scientiarum: Agronomy**, v.30, p.131-138, 2008. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i1.1162>.

WILSON, J.R.; t'MANNETJE, L. Senescence, digestibility and carbohydrate content of Buffel gran and green panic leaves in swards. **Australian Journal Agricultural Research**, v.29, p.503-519, 1978.

WOLFINGER, R. Covariance structure selection in general mixed models. **Communications in Statistics – Simulation and Computation**, v.22, p.1079-1106, 1993. DOI: <https://doi.org/10.1080/03610919308813143>.

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, p.1467-1476, 1988. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>.

ZANINE, A.M.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SANTOS, M.E.R.; PENA, K.S.; SILVA, S.C. da; SBRISSIA, A.F. Características estruturais e acúmulo de forragem em capim-Tanzânia sob pastejo rotativo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.2364-2373, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001100012>.

ZANINI, G.D.; SANTOS, G.T.; SCHIMITT, D.; PADILHA, D.A. Distribuição de colmo na estrutura vertical de pastos de capim-aruana e azevém anual submetidos à pastejo intermitente por ovinos. **Ciência Rural**, v.42, p.882-887, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012000500020>.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T.M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, p.117-161, 1997. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(97\)00040-2](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00040-2).

ZIMMER, A.H. **Efeito de níveis de nitrogênio e resíduos de pastejo, sobre a produção, estrutura e qualidade das cultivares Aruana e Vencedor (*Panicum maximum* Jacq.)**. 1999. 213p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

ZIMMER, A.H.; MACEDO, M.C.M.; KICHEL, A.N.; ALMEIDA, R.G. de. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande:Embrapa Gado de Corte: 2012. 42p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 189).

ZINN, Y.; MARRENJO, G.; SILVA, C.A. Soil C: N ratios are unresponsive to land use change in Brazil: A comparative analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.255, p.62-72, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.019>.

ANEXO I

Descrição morfológica dos horizontes do solo da área experimental, avaliados em 21/03/2019.

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

- A** 0-9 cm, bruno escuro (7,5YR 3/2, úmida) e bruno acinzentado escuro (10YR 4/2, seca); argila; forte pequena média granular; duro, firme,plástica e pegajoso; transição plana e clara. Espessura – 9cm.
- AB** 9-21 cm, bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2 úmida) e bruno amarelado (10YR 5/4 seca); granular/blocos subangulares; forte; pequena/média; seca ligeiramente duro; úmida friável; plastica e pegajosa; transição clara e forma plana. Espessura – 12cm.
- BA** 21-37 cm, bruno amarelo escuro (10 YR 4/4 úmida) e bruno-amarelado (10YR 5/6 seca); angulares/subangulares; moderado; pequena/media; seca ligeiramente duro; úmida friável; plástica e muito pegajoso; transição gradual e forma plana. Espessura – 16cm.
- Bw1** 37-118 cm, bruno amarelado (10 YR 5/6 úmida) e amarelo brunado (10 YR 6/6 seca); subangular; fraca; muito pequeno/pequeno; seca macio; úmida muito friável; plástico e muito pegajoso; transição difusa e forma plana. Espessura 81cm.
- Bw2** 118-180, bruno forte (7,5 YR 5/6 úmida) e amarelo brunado (10YR 6/6 seca); subangulares; fraco; muitopequeno/pequeno; seca macio; úmida muito friável; plástico e muito pegajoso. Espessura – 62cm.

Raízes -Finas e médias no horizonte A; poucas e finas e médias no horizonte AB; poucas e finas BA, Bw1, Bw2.

ANEXO II

Altura do dossel

Houve efeito de interação entre tratamento e estação ($p=0,0068$) para a altura do dossel. Durante todas as estações maiores alturas foram observadas para o T5, com semelhança ao T4 no outono 1, seguido por aquelas verificadas em T3 e T4 (com maior nível de intensidade de uso da *U. decumbens*). Entre as estações, maiores alturas ocorreram durante o outono 1 para todos os tratamentos e durante o verão 2 para T1, T2 e T5 (Tabela 1).

Tabela 1. Altura (cm) do dossel dos tratamentos durante as estações do ano.

Estações	Tratamentos					EPM	Valor <i>p</i>
	T1	T2	T3	T4	T5		
Verão 1	33Bd	34BCcd	36Bc	43Bb	68Ba	3,0	
Outono 1	47Ac	42ABc	51Abc	60Aab	65ABCa	2,4	
Primavera 1	31Bc	32Cc	38Bb	40Bb	65BCa	2,9	<0,0001
Verão 2	40Ab	41Ab	39Bb	43Bb	72Aa	2,9	
Outono 2	32Bc	32Cc	36Bbc	40Bb	62Ca	2,7	
EPM	1,6	1,2	1,5	1,9	1,0		
Valor <i>p</i>	<0,0001						

Médias na mesma coluna seguidas de mesma letra maiúscula caracterizam o tratamento dentro das estações; médias seguidas de mesma letra minúscula na linha caracterizam os tratamentos dentro da mesma estação, não diferem entre si pelo método da diferença mínima significativa (LSD) ($p<0,05$). EPM: erro padrão da média. T1: *U. decumbens* (controle); T2: *U. decumbens* e calagem; T3: *U. decumbens*, calagem e adubação fosfatada; T4: *U. decumbens*, calagem e adubação com NPK; T5: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e NPK. Interação tratamento x estação ($p=0,0068$).

Interceptação luminosa (IL) e índice SPAD dos dosséis

As avaliações de interceptação luminosa foram realizadas somente nas últimas estações para monitoramento e caracterização das condições dos dosséis forrageiros. No presente estudo, os pastos não foram manejados seguindo o critério de interceptação luminosa (95%) visto que quando avaliada visualmente para implantação do experimento, a área apresentava elevada participação de material senescente e parte do solo sem cobertura vegetal, condições que poderiam dificultar as avaliações.

Houve efeito de interação entre tratamento e estação do ano ($p<0,0001$) para interceptação luminosa. Para o índice SPAD, que somente foi avaliado no outono 2, foi influenciado pelo tratamento ($p<0,0001$). Somente para o QCAL+NPK foi verificado nível de interceptação luminosa próxima (94,3% no verão 2) e maior (97,5% no outono 2) que 95% de IL (Tabela 2).

Tabela 2. Interceptação luminosa e índice SPAD dos tratamentos durante as estações do ano.

Estação	Tratamentos						Valor <i>p</i>
	CTRL	CAL	CAL+P	CAL+NP K	QCAL+N PK	EPM	
Interceptação luminosa							
Verão 2	85,3Abc	83,3Ac	90,1Aab	89,3Aab	94,3Aa	2,01	<0,0001
Outono 2	66,2Bc	60,1Bc	67,2Bbc	73,9Bb	97,5Aa	2,18	
EPM	2,56	2,56	2,56	2,56	2,56		
Valor <i>p</i>	<0,0001						
Índice SPAD							
Outono 2	33,0A	35,2A	30,5B	36,7A	26,8C	0,877	<0,0001

Médias na mesma coluna seguidas de mesma letra maiúscula caracterizam o tratamento dentro das estações; médias seguidas de mesma letra minúscula na linha caracterizam os tratamentos dentro da estação, não diferem entre si pelo método da diferença mínima significativa (LSD) ($p < 0,05$). EPM: erro padrão da média. CTRL: *U. decumbens*; CAL: *U. decumbens* e calcário; CAL+P: *U. decumbens*, calcário e adubação com fósforo; CAL+NPK: *U. decumbens*, calcário e adubação com NPK; QCAL+NPK: *M. maximus* BRS Quênia, calagem e adubação com NPK. Interação tratamento x estação para interceptação luminosa ($p < 0,0001$).