

LUCAS RAFAEL BIGARDI

**IMPLANTAÇÃO PARTICIPATIVA DE REDESENHO AGROECOLÓGICO DE
PASTAGENS NA AGRICULTURA FAMILIAR: IMPACTOS NA FORRAGEM E NO
SOLO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientadora: Irene Maria Cardoso

Coorientadores: Raquel Santiago Barro
Raphael Bragança Fernandes

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

B592i
2024
Bigardi, Lucas Rafael, 1985-
Implantação participativa de redesenho agroecológico de
pastagens na agricultura familiar: impactos na forragem e no
solo / Lucas Rafael Bigardi. – Viçosa, MG, 2024.
1 tese eletrônica (125 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Irene Maria Cardoso.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Solos, 2024.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.513>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Pastagens. 2. Ecologia das pastagens. 3. Agroecologia.
4. Solos - Conservação. I. Cardoso, Irene Maria, 1959-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos.
Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas.
III. Título.

CDD 22. ed. 633.2


LUCAS RAFAEL BIGARDI

**IMPLANTAÇÃO PARTICIPATIVA DE REDESENHO AGROECOLÓGICO DE
PASTAGENS NA AGRICULTURA FAMILIAR: IMPACTOS NA FORRAGEM E NO
SOLO**


Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 26 de fevereiro de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **LUCAS RAFAEL BIGARDI**
Data: 19/08/2024 15:00:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Lucas Rafael Bigardi
Autor

Documento assinado digitalmente
 **IRENE MARIA CARDOSO**
Data: 18/08/2024 14:41:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Irene Maria Cardoso
Orientadora

Ao meu pai Décio, à minha mãe Sueli,
Às minhas filhas Clara e Luna,
dedico

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos pela oportunidade concedida. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Minha gratidão às famílias agricultoras, pela sua dedicação diária no campo e pelos ricos aprendizados proporcionados. Agradeço especialmente aos agricultores e agricultoras familiares de Divino, que contribuíram direta e indiretamente com a pesquisa: Denil, Eliete, Rogério, Eva, Adriano, Renata, Jairinho, Denilza, Jairo, Zé Ventura, Elza, Paulinho, Anacleto, Gilvania e Sandro. Ao Sindicato dos Trabalhadores Rurais da Agricultura Familiar (SINTRAF) de Divino, por todo o apoio oferecido durante as atividades de campo.

A toda a equipe do Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM), pelo apoio e parceria imprescindíveis para a realização da pesquisa. Ao programa internacional Forefront, que oportunizou o desenvolvimento desse trabalho de forma participativa com as famílias agricultoras.

Ao Matheus, Rogério Lana, Rodrigo, Lucas Carvalho e Gabriel, por contribuírem com seus conhecimentos nas bancas de qualificação e defesa da tese. Aos técnicos de laboratório Claudio da Física do Solo e à Mariana e João da Agronomia, sempre muito colaborativos.

Ao Leandro e Daniela, parceiros com quem pude compartilhar a realização de nossas pesquisas. Ao Renan, que contribuiu com muita dedicação na realização de análises. À Nancy, Clara, Arthur, Allie e Luana pela amizade e parceria na jornada acadêmica. À Emmeline, pelo amor, carinho e companheirismo compartilhados comigo na caminhada.

À minha família, meu pai Décio, minha mãe Sueli e minha irmã Patrícia, por me apoiarem desde meus primeiros passos. Às minhas filhas amadas, Clara e Luna, fonte de amor infinito e motivação de viver por um mundo melhor.

À Irene pela confiança, orientação e amizade, pelos aprendizados que levarei comigo por toda a vida. À Raquel, pela prestatividade e competência de sua orientação, para sempre serei grato.

Aos seres de luz e à força divina, que me guiam e iluminam meu caminhar.

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

RESUMO

BIGARDI, Lucas Rafael, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2024. **Implantação participativa de redesenho agroecológico de pastagens na agricultura familiar: Impactos na forragem e no solo.** Orientador: Irene Maria Cardoso. Coorientadores: Raquel Santiago Barro e Raphael Bragança Fernandes.

As pastagens são a principal e mais econômica fonte de alimento para os bovinos, dada a sua acessibilidade e baixo custo de produção. Contudo, os baixos índices de produtividade da pecuária e de degradação das pastagens indicam a necessidade de aumentar a eficiência na criação de bovinos, reverter os processos de degradação e promover a sustentabilidade da atividade pecuária. O pastoreio rotacionado e arborização das pastagens estão entre as técnicas utilizadas para melhorar a produtividade e a qualidade nutricional das pastagens e promovem a conservação do solo, da água e da biodiversidade. A pesquisa objetivou implementar e avaliar o efeito do pastoreio rotacionado agroecológico (PRA), com baixo aporte de insumos e com a presença de árvores, na produtividade e qualidade nutricional das pastagens e dos solos. Participaram da pesquisa cinco famílias agricultoras do município de Divino, Minas Gerais. No Capítulo 1, objetivou-se sistematizar a experimentação participativa de redesenho de pastagens, realizada em cinco propriedades da agricultura familiar. A caracterização das áreas apontou heterogeneidade geomorfológica das áreas onde as pastagens estavam localizadas, o que é bastante comum na região. Nas pastagens avaliadas, houve predomínio do capim marandu (*Urochloa Brizantha*), com ocorrência também de *Brachiaria decumbens*. O redesenho participativo da pastagem oportunizou aos agricultores conhecer e experimentar o pastoreio rotacionado e compreender a importância das árvores e o manejo da biodiversidade nas pastagens. Após pouco tempo (10 meses) de implantação, realizou-se a avaliação dos efeitos do PRA em relação ao Pestejo Contínuo (PC), com taxa de lotação fixa e sem a presença de árvores, em uma das cinco propriedades. No capítulo 2, objetivou-se avaliar o desenvolvimento de forragem sob a influência do pastoreio rotacionado em pastagem agroecológica arborizada. Avaliou-se o acúmulo de forragem, a qualidade nutricional e composição morfológica da forragem nos sistemas PRA e PC, em três estações do ano (verão, outono e primavera). No sistema PRA, em relação ao PC, a altura do dossel forrageiro, o acúmulo de forragem e a produção total de proteína bruta da gramínea foram maiores em todas as estações avaliadas. Do verão para a primavera, houve redução do acúmulo de matéria seca em ambos os sistemas e redução na proporção de folhas em relação aos demais componentes morfológicos. No capítulo 3, objetivou-se avaliar os impactos do pastoreio rotacionado agroecológico (PRA) sobre a

qualidade do solo, utilizando-se indicadores físicos e químicos em diferentes estações (verão, outono e primavera), em comparação com PC. Os indicadores de resistência do solo a penetração foram menores em PRA na profundidade de 0 a 10 cm e maiores na profundidade de 0 a 60 cm. A condutividade hidráulica insaturada e a infiltração acumulada foram maiores em PRA, indicando condições mais favoráveis à conservação do solo em PRA do que em PC. A acidez do solo foi menor no sistema PRA, indicando possíveis efeitos positivos da decomposição e ciclagem de matéria orgânica nesse sistema. Mesmo em um curto período, os resultados demonstraram o potencial do sistema PRA em elevar a produtividade e qualidade das pastagens e prover melhores condições de conservação do solo e água do que PC. Especialmente na agricultura familiar, é possível aumentar os níveis de eficiência e sustentabilidade na pecuária usando PRA. Entretanto, para tal, políticas públicas são necessárias, pois as famílias nem sempre possuem recursos para os investimentos requeridos. Para uma melhor avaliação dos benefícios do PRA sobre as condições ambientais das pastagens, um processo continuado de monitoramento deve ser realizado. A pesquisa aqui apresentada constitui a base deste monitoramento.

Palavras-chave: experimentação participativa, pastoreio rotacionado, pastejo contínuo, conservação do solo, agroecologia.

ABSTRACT

BIGARDI, Lucas Rafael, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2024. **Participatory implementation of agroecological pasture redesign in family farming: Impacts on forage and soil.** Adviser: Irene Maria Cardoso. Co-advisers: Raquel Santiago Barro and Raphael Bragança Fernandes.

Pastures are the main and most economical source of food for cattle, due to their accessibility and low production costs. However, the low levels of livestock's production and pasture degradation indicate the necessity to increase efficiency in cattle breeding, reverse the processes of degradation and promote sustainability in livestock farming. Rotational grazing and pasture afforestation are among the techniques used to improve the productivity and nutritional quality of pastures and promote the conservation of soil, water and biodiversity. The research aimed to implement and evaluate the effect of agroecological rotational grazing (ARG), with low inputs and with the presence of trees, on the productivity and nutritional quality of pastures and soils. participated in the research five farming families from the municipality of Divino, Minas Gerais. In Chapter 1, the objective was to systematize the process of participatory redesign of pasture, carried out on five family farms. The characterization of the areas showed geomorphological heterogeneity in the areas where the pastures were located, which is quite common in the region. In the pastures evaluated, marandu grass (*Urochloa Brizantha*) predominated, but *Brachiaria decumbens* also occurred. The participatory redesign of pasture gave the farmers the opportunity to know and to experiment the rotational grazing and to be aware of the importance of trees and of the management of biodiversity in pastures. After a short time (10 months) of implementing, the effects of the ARG were evaluated in relation to Continuous Grazing (CG), with a fixed stocking rate and without the presence of trees, in one of the five farms. In Chapter 2, the objective was to evaluate the development of forage under the influence of rotational grazing in an agroecological pasture, with trees. The forage accumulation, nutritional quality and morphological composition of the forage in the ARG and CG systems were evaluated in three seasons (summer, fall and spring). In the ARG system, compared to the CG, forage canopy height, forage accumulation and total crude protein production of the grass were higher in all the seasons evaluated. From summer to spring, there was a reduction in dry matter accumulation in both systems and a reduction in the proportion of leaves in relation compared to the other morphological components. The objective of Chapter 3 was to evaluate the impact of agroecological rotational grazing on soil quality, using physical and chemical indicators, in different seasons (summer, fall and spring), compared to CG. The

indicators of soil resistance to penetration were lower in ARG at a depth of 0 to 10 cm and higher at a depth of 0 to 60 cm. Unsaturated hydraulic conductivity and accumulated infiltration were higher in ARG, indicating more favorable conditions for soil conservation in ARG than in GC. Soil acidity was lower in the ARG system, indicating the possible positive effects of decomposition and cycling of organic matter in this system. Even in the short period, the results demonstrated the potential of the ARG to increase the productivity and quality of pastures and provide better conditions for soil and water conservation than e GC. Especially in family farming, it is possible to increase the levels of efficiency and sustainability in the livestock farming practicing ARG. However, for that, it is required public policies, considering that families do not always have the resources for the required for investments. In order to better understand the benefit of the ARG on the environmental conditions of pastures, a continuous monitoring process must be carried out. The present research forms a basis for this monitoring.

Keywords: participatory experimentation, rotational grazing, continuous grazing, soil conservation, agroecology.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:	17
CAPÍTULO 1	21
MANEJO AGROECOLÓGICO DE PASTAGENS: ESTRATÉGIAS COLETIVAS DE REDESENHO	21
Resumo:	21
1. INTRODUÇÃO	23
2. MATERIAL E MÉTODOS	27
2.1. Caracterização da área de estudo	27
2.2. Caracterização das propriedades envolvidas	28
2.3. Redesenho da pastagem	28
2.3. Mapas do redesenho	30
2.4. Árvores na pastagem	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
3.1. Caracterização das propriedades e das pastagens	31
3.2. Divisão das pastagens e formação dos piquetes	38
3.2.1. Participação das famílias e critérios para a demarcação dos piquetes	38
3.3. Árvores nas pastagens	45
4. CONCLUSÕES	48
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
CAPÍTULO 2	54
PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE FORRAGEM EM PASTAGENS MANEJADAS SOB PASTOREIO ROTACIONADO AGROECOLÓGICO E PASTEJO CONTÍNUO.....	54
Resumo:	54
1. INTRODUÇÃO	56
2. MATERIAL E MÉTODOS	60
2.1. Caracterização das áreas de estudo	60
2.2. Condução do experimento	63
2.3. Amostragem, coleta e processamento de amostras	64
2.4. Análises de valor nutritivo da forragem	66
2.5. Separação de componentes morfológicos	66
2.6. Análise estatística	66
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
3.1. Altura e acúmulo de matéria seca de forragem	67

3.2. Valor nutricional das pastagens	72
3.3. Distribuição dos componentes morfológicos da forragem	75
4. CONCLUSÕES	81
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
CAPÍTULO 3	89
Resumo	89
1. INTRODUÇÃO	91
2. MATERIAL E MÉTODOS	95
2.1. Caracterização da área de estudo	95
2.2. Tratamentos, amostragem, coleta e processamento de amostras	96
2.3. Atributos físicos do solo	98
2.3.1. Determinações no laboratório	98
2.3.2. Avaliações de Campo	100
2.4. Propriedades químicas do solo	101
2.5. Análises estatísticas	101
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	101
3.1. Propriedades físicas do solo	101
3.2. Resistência mecânica do solo à penetração em campo	105
3.3. Condutividade hidráulica insaturada, infiltração acumulada e volume de água no solo 108	
3.4. Atributos químicos do solo	112
4. CONCLUSÕES	114
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115
CONSIDERAÇÕES FINAIS	123

INTRODUÇÃO GERAL

As pastagens constituem a principal e mais econômica fonte de alimento na criação de bovinos e, quando manejadas de forma adequada, podem garantir uma exploração pecuária produtiva e sustentável (Salman, 2007), desde que sejam consideradas as particularidades e técnicas mais adaptadas para cada ambiente e região.

A necessidade de aliar produtividade e sustentabilidade no manejo de pastagens é atualmente um dos grandes desafios diante do cenário de degradação que predomina na produção animal a pasto. O conceito de pastagem ecológica, fundamentado no manejo sustentável, integra as condições ecossistêmicas locais, o bem estar animal e à conservação de solo e água (Melado, 2007). O manejo ecológico das pastagens é fundamental para reverter o problema de degradação das pastagens.

No Brasil, estima-se que cerca 160,9 milhões de hectares sejam ocupados por áreas de pastagens, sendo que destes 89,1 milhões apresentam algum grau de degradação (LAPIG, 2020). A degradação se reflete em prejuízos ambientais, econômicos e sociais. Os impactos ambientais da degradação, a depender da sua intensidade, podem ser mais severos e difíceis de serem revertidos. A compactação e erosão do solo se destacam entre os processos mais significativos, e comprometem a quantidade e qualidade da água, pois provocam distúrbios na capacidade de manter a cobertura e a infiltração de água do solo. Os impactos ambientais resultam em impactos econômicos e sociais, pois afetam diretamente a capacidade de produção da biomassa forrageira e a maior ocorrência de espécies espontâneas ou invasoras, que podem não agregar valor nutritivo à pastagem e podem ainda provocar toxidez aos animais (Victória Filho et al., 2014). Os prejuízos econômicos ocorrem quando as pastagens atingem níveis abaixo da produtividade considerada ideal para determinada área (Dias-Filho, 2007), o que reduz o desempenho animal, eleva a necessidade de suplementação e, conseqüentemente, dos custos de produção. Os prejuízos sociais vão para além dos prejuízos econômicos, pois a pastagem degradada pode levar, por exemplo, a menor segurança e soberania alimentar das famílias e dos animais.

De maneira geral, a degradação da pastagem é um processo acumulativo, que leva a perda da qualidade do solo devido às alterações em suas propriedades químicas, físicas e biológicas (Karlen et. al, 1997), o que compromete importantes funções do solo como dar suporte a produção vegetal e animal, condicionar a qualidade da água e do ar, favorecer a

biodiversidade e gerar meios de vida às populações humanas (Wienhold et. al, 2008, Bünemann et. al, 2018).

Em pastagens, a compactação pelo pisoteio afeta principalmente as camadas mais superficiais do solo, podendo ou não ser reversível a depender da intensidade da compressão (Cassol, 2003). Taxas de lotação muito elevadas podem provocar compactação considerável do solo e torna-lo mais suscetível à erosão hídrica (Bertol *et al.*, 1998).

A densidade do solo é uma das propriedades que melhor descrevem o estado estrutural do solo (Spera *et al.*, 2004), pois se relaciona diretamente com outras propriedades, especialmente com a porosidade, além de influenciar outros parâmetros como o grau de compactação e a condutividade hidráulica. A densidade do solo, contudo, é uma propriedade dinâmica, que pode variar em função da textura, bem como do manejo, sendo sensível à compressão por implementos, pisoteio animal e condições ambientais diversas (Arshad *et al.*, 1996).

Diretamente relacionada ao grau de compactação e à densidade do solo, a porosidade é caracterizada de acordo com a distribuição e tamanho de poros. Os macroporos, aqueles com diâmetro superior a 0,06 mm, são responsáveis pelo livre movimento do ar e da água, e os microporos com diâmetro inferior a 0,06 mm, responsáveis principalmente pelo armazenamento de água no solo (Reichardt, 1990). A distribuição de poros por tamanho contribui para avaliar os graus de compactação, a manutenção da condutividade hidráulica, a retenção de água e o desenvolvimento radicular das plantas.

A condutividade hidráulica do solo é uma importante propriedade para se avaliar sistemas de manejo na agropecuária e para predizer sobre o grau de conservação do solo, pois ela expressa a maior ou menor facilidade da água infiltrar e se movimentar no perfil do solo (Gonçalves, 2013). Já a resistência mecânica a penetração é uma estimativa de força, que influencia a capacidade de crescimento e a expansão do sistema radicular de plantas. Assim como é muito dependente da umidade, a resistência a penetração é uma medida sensível também à compactação (Imhoff et al., 2000). Em pastagens, Costa et al. (2012) observaram que aumento da intensidade de pastejo resultou em maior resistência mecânica à penetração, bem como redução na produção de raízes de *Panicum maximum* em Argissolo Vermelho distrófico.

Do ponto de vista do manejo, a taxa de lotação pode é um dos principais fatores que determinam a estabilidade ou declínio da pastagem, tanto pelo consumo de forragem como

devido aos impactos provocados pelo pisoteio animal. O ajuste da taxa de lotação é fundamental para se equilibrar a carga animal de acordo com a capacidade de suporte da pastagem, de modo que se evite tanto o superpastejo como o subpastejo, ambos prejudiciais à perenidade e estabilidade produtiva da pastagem (Nabinger, 2002). Tal ajuste deve considerar a manutenção da estrutura do dossel forrageiro, responsável pela recuperação da pastagem após os eventos de pastejo, assim como pela maior ou menor eficiência do consumo animal de acordo com a altura do dossel (Carvalho et al., 2005).

O manejo da pastagem, portanto, deve ser empregado com o objetivo de criar ambientes adequados para a obtenção de alimento pelo rebanho, sendo a estrutura do pasto o componente que determina o grau de facilidade dos animais em exercerem o comportamento ingestivo (Salman, 2007). Independentemente do sistema de pastoreio adotado, seja em lotação contínua ou rotacionado, um dos fatores determinantes é a pressão de pastejo, que deve ser conduzida no sentido de otimizar o consumo animal pela desfolha sem comprometer a capacidade de recomposição da forragem, de modo que permaneça uma área foliar minimamente capaz de manter a capacidade fotossintética da pastagem (Nabinger, 2002).

A contínua remoção de folhas pode ser prejudicial a pastagem, principalmente com alta pressão de pastejo, onde folhas com maior capacidade fotossintética são removidas ainda em fase de expansão, o que diminui progressivamente a capacidade fotossintética global da pastagem (Parsons et al., 1983). No pastoreio rotacionado, onde a taxa de desfolha é zero no período de repouso, a renovação do dossel forrageiro é favorecida pela síntese de nova área foliar após o pastejo. Nesse caso, maior atenção deve ser dada ao balanço crescimento-senesescência, regido principalmente pelo intervalo entre pastejos (Nabinger, 2002), para se evitar perdas e queda no valor nutricional da pastagem. Para isso, é necessário que os intervalos de pastejo sejam determinados pelo desenvolvimento da forragem, e não a partir de intervalos fixos de tempo.

A diversificação das forrageiras também é importante, pois atribui as pastagens maior adaptabilidade às variabilidades edafoclimáticas, manutenção da eficiência, produtividade e longevidade dos sistemas pastoris (Carvalho et al., 2021). O capim Marandu, por exemplo, gramínea da espécie *Urochloa Brizantha*, também conhecido como Braquiarião, é a forrageira mais cultivada no Brasil, ocupando em monocultivo mais de 50 milhões de hectares, o que possivelmente coloca essa gramínea entre as culturas agrícolas mais plantadas no mundo (Carvalho et al., 2021). Esse capim é de crescimento cespitoso, robusto, com exigência de solos

com fertilidade média a boa, dada a sua origem em regiões vulcânicas da África, cujos solos apresentam bons níveis de fertilidade natural (Rayman, 1983). Apesar de suas características agronômicas de elevada produtividade, adaptabilidade e persistência (Fazolin et al., 2016) a cultivar também apresenta problemas, como por exemplo ser susceptível ao ataque da cigarrinha da cana-de-açúcar, do gênero *Mahanarva*, embora seja resistente à cigarrinha das pastagens (Valério, 2006). Outra ocorrência frequente, principalmente em regiões com elevados volumes de chuva, é a síndrome da morte do braquiário (Teixeira Neto et al., 2000; Pedreira et al., 2014), associada a ambientes com má drenagem, e que tem causado preocupações entre a maioria dos criadores que utilizam essa cultivar em larga escala, dada a severidade dos danos observados. A diversificação das forrageiras, portanto, pode e deve ser mais explorada, pois pode contribuir para superar tais problemas

A diversificação nas pastagens, contudo, não deve se restringir às espécies forrageiras, mas incluir também o componente arbóreo. A ausência de árvores nas pastagens compromete a qualidade do solo, da água, diminui o conforto animal e torna as paisagens agrícolas ambientes desfavoráveis à conservação da biodiversidade, principalmente por comprometer os fluxos migratórios de animais e a dispersão de espécies vegetais. Quando envolvidos por uma matriz agrícola pautada no monocultivo, os fragmentos florestais assumem o padrão de ilhas isoladas, o que leva redução drástica ou até mesmo a extinção de muitas espécies da flora e fauna nativas (Perfecto et al., 2009). Em biomas como o de Mata Atlântica, um dos cinco *hotspots* de biodiversidade do planeta (Ribeiro et al., 2011), as formas de uso e ocupação da terra podem representar uma ameaça ou oportunidade à conservação da biodiversidade, a depender da orientação da matriz agropecuária.

A introdução do componente arbóreo nas pastagens, no que se denomina sistema silvipastoril, uma modalidade de sistemas agroflorestais (OTS/CATIE, 1986), constitui um dos elementos fundamentais para a transição agroecológica, principalmente nos ambientes tropicais. No entanto, introduzir o componente arbóreo em pastagens já estabelecidas ainda apresenta alguns desafios, principalmente em função da presença de animais. Na agricultura familiar, especialmente, o isolamento da pastagem para o estabelecimento de árvores nem sempre é uma alternativa, dada a restrição de áreas nas pequenas propriedades, sendo mais viável a bateção seletiva a partir da regeneração natural, que permite a emergência e persistência de determinadas espécies na pastagem, do que a implantação de mudas por exemplo. Uma outra forma de introduzir árvores nas pastagens é colocar galhadas amontoadas nas pastagens, o que

cria um ambiente favorável à germinação de sementes e ao mesmo tempo protege as plântulas do consumo pelo gado.

Os sistemas agroflorestais, como por exemplo os sistemas silvipastoris são considerados, em geral, como técnicas que utilizam os princípios agroecológicos, pois as práticas de manejo contribuem para a ocorrência de maiores interações ecológicas entre espécies da flora e da fauna, o que amplia tanto a biodiversidade manejada como a não manejada ou espontânea (Gliessman, 2001). Ao favorecer a biodiversidade, os sistemas agroecológicos de produção aumentam a eficiência de uso da água e energia, favorecem a cobertura do solo e a ciclagem de nutrientes, dentre outros benefícios e recursos genéticos na agricultura (Francis et al., 2003). Faz parte dos princípios agroecológicos a promoção das interações ecológicas proporcionadas pelo manejo da biodiversidade, o que amplia os benefícios (ou serviços) ecossistêmicos, como o aumento da produtividade e da autonomia, pois ocorre a redução do uso de insumos externos (Wezel et al., 2015).

Na região da Zona da Mata mineira, onde ocorre predomínio da agricultura familiar e de pequenas propriedades rurais, a influência do modelo hegemônico de agricultura, pautado em tecnologias da revolução verde, não favorece as práticas que utilizam os princípios agroecológicos e, portanto, não favorece práticas de manejo compatíveis com as características do solo e do relevo das áreas de produção agropecuária (Romano, 2010), o que leva a degradação das pastagens. A degradação desafia pesquisadores, extensionistas e as próprias famílias agricultoras a buscarem formas mais sustentáveis de manejo dos agroecossistemas. No município de Divino, onde a pesquisa foi realizada, ações envolvendo a temática da criação animal, pautadas nos princípios da agroecologia vem sendo realizadas por algumas famílias desde 2010. Cinco destas famílias participaram da presente pesquisa que teve como enfoque o manejo das pastagens. Durante a elaboração da proposta da pesquisa, a temática das árvores na pastagem foi sempre muito presente, assim como a necessidade de subdivisão das pastagens e a experimentação com o pastoreio rotacionado, uma das prioridades estabelecidas pelo grupo com vistas a melhorar o manejo das pastagens.

Técnicas envolvendo estas temáticas contribuem para superar os desafios relacionados aos processos de recuperação das pastagens na agricultura familiar. Entretanto, estas técnicas exigem capacidade de investimento e do conhecimento e participação ativa dos agricultores/as. A construção coletiva do conhecimento pressupõe o diálogo entre a pesquisa e a experiência cotidiana dos agricultores.

Para promover tais diálogos, a presente pesquisa se orientou pelos princípios da pesquisa-ação no redesenho das pastagens e nos estudos sobre os efeitos deste redesenho. As intervenções e estudos foram resultado de um processo coletivo envolvendo pesquisadores, técnicos e famílias agricultoras.

A presente pesquisa também integrou as ações do programa de pesquisa internacional Benefícios da natureza nas fronteiras agroflorestas: conectando atores, estratégias, biodiversidade funcional e serviços dos ecossistemas (FOREFRONT), desenvolvido em parceria com as Universidades de Wageningen (Holanda), Federal de Viçosa (UFV, Brasil), Nacional e El Colégio da Fronteira Sul (ambas do México). O programa teve como enfoque a compreensão da dinâmica das paisagens agrícolas e os serviços ecossistêmicos relacionados à conservação da biodiversidade. A temática abordada na presente pesquisa integrante das ações realizadas pelo programa.

A pesquisa objetivou implementar e avaliar o efeito do pastoreio rotacionado agroecológico (PRA), com baixo aporte de insumos e com a presença de árvores, na produtividade e qualidade nutricional das pastagens e dos solos. A pesquisa foi organizada em 3 capítulos, sendo eles: Capítulo 1, intitulado **Manejo agroecológico de pastagens: estratégias coletivas de redesenho**, objetivou sistematizar a experiência participativa de redesenho da pastagem, em cinco propriedades da agricultura familiar. O Capítulo 2, intitulado **Produtividade e qualidade de forragem em pastagens manejadas sob pastoreio rotacionado agroecológico e pastejo contínuo**, objetivou avaliar o desenvolvimento de forragem sob a influência do pastoreio rotacionado em pastagem agroecológica arborizada em termos de acúmulo de forragem, valor nutricional e composição morfológica em diferentes estações do ano. O capítulo 3, intitulado **Qualidade do solo em pastagens sob pastoreio rotacionado agroecológico e pastejo contínuo**, objetivou avaliar os impactos do pastoreio rotacionado agroecológico sobre a qualidade do solo, utilizando indicadores físicos, químicos e testes de campo ao longo das estações do ano. Para uma melhor avaliação do efeito do PRA sobre as condições ambientais das pastagens, um processo continuado de monitoramento deve ser realizado. A pesquisa aqui apresentada constituiu a base deste monitoramento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ARSHAD, M.A., LOWERY, B. AND GROSSMAN. B. Physical Tests for Monitoring Soil Quality. In: Doran, J.W. and Jones, A.J., Eds., **Methods for Assessing Soil Quality**, Soil Science Society of America Special Publication 49, SSSA, Madison, WI, 123-142. 1996.

BERTOL, I.; MELLO, E. L.; GUADAGNIN, J. C.; ZAPAROLLI, A. L.V.; CARRAFA, M. R. Nutrients losses by water erosion. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 581-586, 2003

BÜNEMANN, E. K., BONGIORNO, G., BAI, Z., R. E. CREAMER, DE DEYN, G., DE GOEDE, R., FLESKENS, L., GEISSEN, V., KUYPER, T. W., MÄDER, P., PULLEMAN, M., SUKKEL, W., VAN GROENIGEN, J. W., BRUSSAARD, L. Soil quality – A critical review, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 120, 2018, p. 105-125.

CARDOSO, I. M., MUGGLER, C. C., FÁVERO, C., MENDONÇA, E. S, OLIVEIRA, T. S., LIMA, A. C. R., CASALINHO, H. D., FERNANDES, R. B. A. Resignificar nossas percepções sobre o solo: Atitude essencial para manejar agroecossistemas sustentáveis. In: CARDOSO, I. M.; FÁVERO, C. Solos e agroecologia. (Coleção transição agroecológica). V. 4. Brasília, DF: Embrapa, 373 p. 2018. p. 33 – 59

CARVALHO, P.C.F.; GENRO, T.C.M.; GONÇALVES, E.N. et al. Estrutura do pasto como conceito de manejo: reflexos sobre consumo e a produtividade. In: SIMPÓSIO SOBRE VOLUMOSOS NA PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 2., 2005, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 2005. p.107-124.

CARVALHO, M., RAMOS, A., BRAGA, G., da FONSECA, C. E. L., FERNANDES, F. Diversificação de pastagens: alternativa simples e de baixo custo para a intensificação dos sistemas de produção pecuário. Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico, 188. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021.

CASSOL, L.C. **Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003, 143p. (Tese de Doutorado)

COSTA, M. A. T., TORMENA, C. A., LUGÃO, S. M. B., FIDALSKI, J., NASCIMENTO, W. G. D., MEDEIROS, F. M. D. 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, 2012.

DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 190 p.

FAZOLIN, M.; SANTOS, R. S.; ANDRADE, C. M. S. de; ASSIS, G. M. L. de; VALENTIN, J. F. **Cigarrinhas-das-pastagens: como identificar e controlar a principal praga das pastagens**. Rio Branco: Embrapa Acre (Folder), 2016. 6p.

FRANCIS, C., LIEBLEIN, G., GLIESSMAN, S. R., BRELAND, T., CREAMER, N., HARWOOD, R. Agroecology: The ecology of food systems. **Journal of sustainable agriculture**, v. 22, n. 3, p. 99-118, 2003.

FREITAS, A. F. de. Contribuição de árvores nativas para pastagens agroecológicas de famílias agricultoras. 2017, 109p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2001.

GONÇALVES, A. D. M. D. A., & LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1174-1184, 2013.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017. Tabela 6783 - Número de estabelecimentos agropecuários com bovinos, Efetivos, Venda e Produção de leite, por grupos de área de pastagem e grupos de área total - resultados preliminares 2017. Rio de Janeiro: Ministério da Economia/IBGE, 2019a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6783>. Acesso em: 03 ago. 2020.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500. 2000.

KARLEN, D. L., MAUSBACH, M. J., DORAN, J. W., CLINE, R. G., HARRIS, R. F., & SCHUMAN, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, 61(1), 4-10.

LAPIG - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (2020) Atlas Digital das Pastagens Brasileiras. Universidade Federal de Goiás. Disponível em: <<https://atlasdaspastagens.ufg.br/map>>. Acesso em: 14 de outubro de 2022.

MACHADO, L.C.P. **Pastoreio Racional Voisin: tecnologia agroecológica para o terceiro milênio**. –2. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2010. 376p.

MELADO, J. **Pastagem ecológica uma alternativa racional**. Disponível em: <http://www.creamt.org.br/palavra_profissional.asp?id=67>. Acesso em 21 ago. 2007

NABINGER, C. 2002 Sistemas de pastoreio e alternativas de manejo de pastagens. In: CICLO DE PALESTRAS EM PRODUÇÃO E MANEJO DE BOVINOS. Ênfase: Manejo reprodutivo e sistemas de produção em bovinos de corte. 7, 2002, Canoas. Anais... Canoas: Ulbra, 2000. p.7-60.

OTS/CATIE. Sistemas Agroforestales: principios y aplicaciones en los tropicos. San Jose: Organización para Estudios Tropicales/CATIE, 1986. 818p.

PARSONS, A. J., LEAFE, E. L., COLLETT, B., PENNING, P. D., LEWIS, J. The physiology of grass production under grazing. 1. Characteristics of leaf and canopy photosynthesis of continuously grazed swards. **Journal of Applied Ecology**, v. 20, n. 1, p. 117-126, 1983

PEDREIRA, B. C., DIAS-FILHO, M. B., ANDRADE, C. M. S., RIBEIRO, L. F. C., PEREIRA, D. H., PINA, D. S., FELIPE, F. L. (2014). Síndrome da morte do Braquiário em Mato Grosso. In: B. C. PEDREIRA, D. H. PEREIRA, D. S. PINA, R. A. CARNEVALLI & L. B. LOPES (Eds.), Simpósio de Pecuária Integrada (pp. 217–237). SinopMT: Embrapa. 2014.

- PERFECTO, I., VANDERMEER, J., WRIGHT, A., 2009. Nature's Matrix: Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty. Cap. 2. p. 11-33. Earthscan, London
- RAYMAN, P. R. **Minha experiência com Brachiaria brizantha**. Campo Grande. Rayman's Seeds Sementes de Pastagens Tropicais, 1983.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.
- RIBEIRO, M. C., MARTENSEN, A. C., METZGER, J. P., TABARELLI, M., SCARANO, F., FORTIN, M. J. The Brazilian Atlantic Forest: a shrinking biodiversity hotspot. In: Biodiversity hotspots. Springer Berlin Heidelberg, 2011. p. 405-434.
- ROMANO, P. A. Integração lavoura-pecuária-floresta: uma estratégia para a sustentabilidade. **Informe Agropecuário: Integração Lavoura-Pecuária- Floresta**, Belo horizonte, Epamig, v. 31, n. 257, p.7-15, jul/ago. 2010.
- SALMAN, A. K. D. **Conceitos de manejo de pastagem ecológica**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2007. 22 p. (Documentos 121).
- SILVA, V. M. da, TAVARES, R. C., SANTOS JUNIOR, H. J. G., MENDONÇA, E. S. Biologia do solo: Construindo a fertilidade dos solos velhos, lixiviados, pobres e malfadados dos trópicos. In: CARDOSO, I. M.; FÁVERO, C. Solos e agroecologia. (Coleção transição agroecológica). V. 4. Brasília, DF: Embrapa, 373 p. 2018. p. 61 – 99
- SOUSSANA, J. F.; LEMAIRE, G. Coupling carbon and nitrogen cycles for environmentally sustainable intensification of grasslands and crop-livestock systems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 9–17, 2014.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.
- TEIXEIRA NETO, J. F., SIMAO NETO, M., COUTO, W. S., DIAS FILHO, M. B., SILVA, A. D. B., DUARTE, M., DE ALBUQUERQUE, F. C. 'Prováveis causas da morte do capim braquiarião ('Brachiaria brizantha' cv. Marandu) na Amazônia Oriental: relatório técnico'. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 20p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 36).
- VALÉRIO, J. R.; SOUZA, O. C.; VIEIRA, J. M.; CORREA, E. S. Diagnóstico de morte de pastagens nas regiões central e norte do estado de Mato Grosso. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000. 10 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 98)
- VALLEJO, V. E., ARBELI, Z., TERÁN, W.; LORENZ, N., DICK, R. P., ROLDAN, F. Effect of land management and Prosopis juliflora (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. Volume 150, Pages 139-148. 15 March 2012.
- VICTÓRIA FILHO, R.; NETO, A.L.; PELISSARI, A.; REIS, F.C.; DALTRO, F.P. Manejo sustentável de plantas daninhas em pastagens. In: Monquero, P.A. **Manejo de plantas daninhas em culturas agrícolas**. São Carlos/SP: RiMa, 2014. cap.5, p.179-207.

WEZEL, A., BELLON, S., DORÉ, T., FRANCIS, C., VALLOD, D., DAVID, C. Agroecology as a science, a movement and a practice. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 29, n. 4, p. 503-515, 2009.

WEZEL, A., SOBOKSA, G., MCCLELLAND, S., DELESPESE, F., & BOISSAU, A. (2015). The blurred boundaries of ecological, sustainable, and agroecological intensification: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, 35(4), 1283– 1295.

WIENHOLD, B.J., VARVEL, G.E. DORAN, J.W. Quality of soil, Editor(s): Daniel Hillel, **Encyclopedia of Soils in the Environment**, Elsevier, 2005, p. 349-353

CAPÍTULO 1

MANEJO AGROECOLÓGICO DE PASTAGENS: ESTRATÉGIAS COLETIVAS DE REDESENHO

Resumo:

No Brasil, as pastagens cultivadas representam importante forma de uso do solo, tanto pela extensa área ocupada como por sua importância como fonte de alimento para a criação de bovinos. Entretanto, muitas das áreas de pastagem encontram-se degradadas ou mal conservadas. Em regiões como a Zona da Mata de Minas Gerais, tipicamente montanhosas e com uma estação seca bem definida no período do inverno, a criação de bovinos a pasto apresenta desafios relacionados às condições de relevo e também ao regime climático. Para superar esses e outros desafios, estratégias de manejo mais sustentáveis e tecnicamente viáveis são necessárias. Tais estratégias devem, preferencialmente, proporcionar melhor conforto aos animais, condições para o bom desenvolvimento das plantas forrageiras e favorecer a biodiversidade, a conservação do solo e da água. Um grupo de agricultores familiares de Divino-MG tem procurado aprimorar as práticas de manejo das pastagens utilizando princípios agroecológicos. Uma experimentação participativa foi conduzida com estes agricultores para apoiar o redesenho de suas pastagens. Objetivou-se sistematizar a experimentação participativa de redesenho de pastagens, realizada em cinco propriedades da agricultura familiar. Especificamente objetivou-se i) caracterizar as áreas de pastagens estudadas por meio de diagnóstico participativo; ii) realizar de forma participativa as etapas de planejamento e implantação da divisão de pastagens. Na etapa de planejamento, realizaram-se reuniões, visitas técnicas e caminhadas transversais nas áreas selecionadas. A caracterização ambiental das pastagens e das práticas de manejo foram realizadas. O dimensionamento dos piquetes foi realizado com cinco famílias, em atividades coletivas e individuais. As metodologias adotadas favoreceram a elaboração e realização de propostas que atendessem as demandas e objetivos de cada família. As árvores presentes em uma das pastagens foram identificadas e os critérios adotados na seleção de espécies arbóreas compatíveis com as pastagens foram apontados pelo agricultor. A densidade da madeira foi um desses critérios, sendo que árvores de madeira mais densa são consideradas pelos agricultores como desfavoráveis ao bom desenvolvimento da pastagem. Há grande diversidade ambiental das pastagens, com variação do relevo (pedofoma, declividade, altitude e face de exposição), o que é comum na Zona da Mata. Essa diversidade impõe desafios, mas também potencialidades para o redesenho das pastagens, em especial no

que se refere a divisão das mesmas. Identificar os desafios e potencialidade das práticas agroecológicas de manejo nesses diferentes pedoambientes é necessário para o avanço do manejo de pastagens.

Palavras chave: Pastagem, Agricultura Familiar, Experimentação Participativa, Agroecologia

1. INTRODUÇÃO

As pastagens permanentes e pradarias são uma importante forma de uso da terra e ocupam cerca de 3,2 bilhões de hectares e representam 67% da área agricultável global (FAO, 2020). O sistema de produção de bovinos mais utilizado no Brasil é baseado em pastagens. As pastagens são uma fonte de alimento essencial para a criação de bovinos, geram renda e meios de vida para centenas de milhões de pessoas ao redor do mundo, apresentam baixo custo de produção, relativa facilidade de manejo e oferecem boas condições de sanidade e conforto animal. As pastagens em geral não competem diretamente com a produção de alimentos destinados à nutrição humana, dado que os ambientes pastoris são normalmente menos aptos para outros cultivos agrícolas (Zabel, 2014). Contudo, estima-se que ao redor do mundo, muitas áreas ocupadas pelas pastagens encontram-se degradadas. Das pastagens brasileiras, mais de 50% se encontram em algum estado de degradação devido à pressão de uso e ao manejo inadequada (LAPIG, 2020). As pastagens degradadas possuem baixa eficiência e consequentemente não são capazes de acompanhar a crescente demanda por produtos de origem animal, tanto a nível local como global. Tal demanda gera pressão pela abertura de novas fronteiras agrícolas, tanto para implantação de pastagens como para cultivo de grãos para alimentar os animais. Assim, as pastagens degradadas pressionam indiretamente os ecossistemas naturais e recuperá-las é uma necessidade ambiental e socioeconômica.

Do ponto de vista ambiental, nas pastagens degradadas ocorre menor infiltração e maior escoamento superficial das águas das chuvas, o que impede a recarga hídrica de forma apropriada, provoca erosão dos solos, com perdas de nutrientes e assoreamento dos corpos hídricos. Os efeitos biofísicos da degradação de pastagens também promovem danos socioeconômicos, pois afetam negativamente a eficiência da produção animal e comprometem a sustentabilidade ambiental na criação de bovinos. A baixa eficiência, dentre outros danos, eleva a emissão de gases de efeito estufa (Brunes e Couto, 2017).

Nas pastagens bem manejadas e com maior eficiência produtiva tais problemas tendem a ser reduzidos ou eliminados. Em sistemas pastoris com maior aporte e ciclagem de matéria orgânica, as contribuições para mitigar os efeitos dos gases de efeito estufa e atenuar os impactos climáticos projetados para o futuro são maiores (Cardoso, 2012; Wang, 2015). Estudos recentes demonstram que é possível alcançar uma taxa de sequestro de carbono de até 1765 kg/ha/ano, ao promover a recuperação das pastagens (Wang, 2015). Portanto, recuperar

as pastagens degradadas é um desafio, mas também uma oportunidade de mitigar os efeitos da produção agropecuária sobre o ambiente. A recuperação, contudo, requer iniciativas e esforços coletivos para identificar, sistematizar e executar práticas de manejo mais sustentáveis.

Nesse esforço coletivo, a ciência dos solos pode contribuir ao ressignificar conceitos sobre solos tropicais. Os solos tropicais, embora altamente intemperizados, lixiviados, ácidos e com baixa concentração de nutrientes, são profundos, com boa estruturação, o que favorece o desenvolvimento radicular, a infiltração de água e a ciclagem de nutrientes que se encontram disperso na matriz do solo. Portanto, ao contrário do que se houve, os solos tropicais não podem ser considerados como solos “ruins” e “pobres”. Ainda, nos trópicos a fotossíntese é favorecida e a produção de biomassa é alta. Nestas condições, os processos biológicos, em especial aqueles associados às árvores, que possuem sistema radicular profundo, devem ser potencializados, pois são de grande importância para a manutenção da fertilidade em regiões tropicais (Cardoso et. al, 2018). Entretanto, tais processos ainda pouco explorados pela ciência do solo.

As ciências em geral, e a ciência do solo em particular, tendem também a dar pouca importância aos saberes dos camponeses, cujas práticas de manejo em geral possuem menor impacto ambiental e otimizam os fluxos energéticos sem provocar transformações drásticas na paisagem ou nos recursos naturais (Ploeg, 2006), pois incorporam princípios de sustentabilidade. Dentre tais princípios encontram-se a produtividade, a estabilidade e ou resiliência, a flexibilidade, a equidade e a autonomia (Caporal e Costabeber, 2004).

A produtividade pode ser medida pela capacidade dos sistemas em gerar bens, serviços e renda na unidade de produção em quantidade e qualidade que atendam as demandas locais da propriedade assim como da sociedade. Já a capacidade dos agroecossistemas em atenuar impactos diante de perturbações externas e retornar a uma condição de equilíbrio refere-se à estabilidade e ou resiliência (Altieri, 2002), muito relacionadas à biodiversidade e as interações ecológicas locais. A flexibilidade refere-se à capacidade adaptativa de um agroecossistema em se manter produtivo diante de mudanças externas, sejam de ordem climática, econômica ou social. Já a equidade refere-se a gestão equilibrada e justa das relações sociais incluindo as relações familiares e o respeito entre geração, gênero e grupos sociais. Por fim, a autonomia pode ser medida pela capacidade do sistema em se sustentar a partir de seus recursos endógenos, reduzindo a dependência de fontes externas de insumos e energia nos processos produtivos (Altieri, 2002). O agroecossistema sustentável é, portanto, socioeconomicamente funcional e

produz benefícios, chamados por muitos de serviços ecossistêmicos, imprescindíveis para a sociedade.

Em relação às formas mais empresariais de agricultura, os princípios da sustentabilidade em geral são mais praticados pela agricultura familiar camponesa, em especial quando esta incorpora as práticas e princípios do manejo agroecológico (Ventura et al., 2018). Dentre estes princípios encontram-se a ciclagem de nutrientes, o manejo da biodiversidade e a proteção dos solos e das águas (Altieri, 2002). A aplicação destes princípios é importante para a geração de meios de vida às populações rurais, que produz alimentos e demais produtos de origem vegetal ou animal para a sociedade.

Na mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais experiências com a agroecologia e a produção orgânica vem sendo desenvolvidas desde a década de 1980 e envolve, dentre outras, organizações da agricultura familiar, a Universidade Federal de Viçosa (UFV) e o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM) (Cardoso & Ferrari, 2006). No desenvolvimento destas experiências, práticas educativas e metodologias participativas foram utilizadas com o objetivo de provocar transformação nos contextos onde elas eram realizadas, o que exige a participação e envolvimento de todos nos processos de resolução das problemáticas identificadas localmente (Silva & Santos, 2016).

Dentre as ações, em 1994 sistemas agroflorestais (SAFs) foram implantados na região com o objetivo de recuperação dos solos. Estes sistemas foram implantados principalmente em cafezais, já que o café é a principal fonte de renda direta da região, mas também em pastagens, que ocupa a maior quantidade de áreas na região (Cardoso et al, 2001). De 2003 a 2006, a experiência com SAFs foi sistematizada de forma participativa. Apesar da criação animal ser parte importante dos agroecossistemas, pouco se avançou sobre os critérios e manejo das árvores a serem utilizadas em pastagens (Souza et al, 2010; Souza et al., 2012). A sistematização indicou a necessidade de aumentar a integração do componente animal aos agroecossistemas da agricultura familiar, objetivando principalmente, àquela época, o aumento da produção de esterco considerado imprescindível para a transição agroecológica e para a produção orgânica de café (Freitas et al., 2009).

Dentre as iniciativas a partir dos apontamentos da sistematização, encontra-se a execução do projeto ““Vacacões para o café: fechando o ciclo de produção orgânica de café”, realizado por uma equipe multidisciplinar, que atendeu 15 famílias em Araponga, com atuação

principalmente sobre a melhoria das práticas de manejo, das instalações rurais para criação animal, sanidade animal e aplicação de boas práticas de processamento dos produtos de origem animal (Passos, 2008; Freitas et al., 2009). O objetivo inicial de melhorar a integração animal com vistas à produção de esterco teve, contudo, desdobramentos em diferentes e novas ideias. Projetos e realizações ocorreram em função da iniciativa, para as comunidades rurais, inclusive de outros municípios, e para os grupos acadêmicos envolvidos (Tosetto et al., 2013).

Dentre tais desdobramentos, iniciaram-se em 2008 as ações do grupo de pesquisa, ensino e extensão universitária “Animais para a Agroecologia”, que vem, desde então, atuando em processos de experimentação participativa com agricultores familiares principalmente em ações envolvendo a produção de silagens (Bigardi et al., 2013), identificação e avaliação de alimentos alternativos para a alimentação animal (Furtado et al., 2013; Lobo et al., 2013) e a identificação de espécies arbóreas e forrageiras presentes nas pastagens (Bigardi et al., 2014).

A partir de 2010, em articulação com os intercâmbios agroecológicos (Zanelli et al., 2015), o Grupo Animais para a Agroecologia ampliou suas atividades que passaram a envolver também ações para a criação agroecológica de aves (Sampaio et al., 2016) e a criação de suínos de raças caipiras no contexto da agroecologia e da agricultura familiar (Pires et al., 2015). Com os intercâmbios, em 2010, os agricultores familiares de Divino-MG organizaram um grupo denominado mutirão da criação animal (de bovinos) para coletivamente potencializar a criação animal no manejo dos agroecossistemas e muitas de suas ações foram desenvolvidas em parceria com o grupo “Animais para a Agroecologia”. Devido a relevância da pecuária no município, especialmente a criação de bovinos, o grupo do mutirão passou a ter um olhar para o manejo das pastagens que passou a ser prioridade de alguns agricultores participantes do mutirão. Estes agricultores integraram a pesquisa aqui apresentada. Nesta pesquisa, priorizou-se a abordagem participativa, com ações coletivas voltadas para o aprimoramento do manejo das pastagens a partir dos princípios agroecológicos no contexto da agricultura familiar. Para isto, uma experimentação participativa denominada “Redesenho Participativo de Pastagens” foi realizada.

Objetivou-se sistematizar a experimentação participativa de redesenho de pastagens. Especificamente objetivou-se i) caracterizar as áreas de pastagens estudadas por meio de diagnóstico participativo; ii) realizar de forma participativa as etapas de planejamento e implantação da divisão de pastagens. A experimentação foi conduzida em cinco propriedades da agricultura familiar no município de Divino, Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi desenvolvida no município de Divino, Zona da Mata, situada na porção sudeste do estado de Minas Gerais, Brasil. A condição climática predominante na Zona da Mata é a tropical de altitude. A precipitação média anual varia de 1200 a 1400 mm, com um período de seca bem definido variando de dois a quatro meses; a temperatura média é em torno de 19 °C; as declividades variam entre 20 e 45 %, e as altitudes entre 200 e 1800 m (Golfari, 1975). A classe de solo predominante é a de Latossolos, em geral, profundos, bem drenados, ácidos e com baixa concentração de nutrientes (Ker, 1995). Na Região da Zona da Mata mineira a agricultura é o componente principal da economia dos municípios e tem como principais formas de uso do solo a cafeicultura e a bovinocultura leiteira. Ambas ocupam as encostas declivosas, principalmente aquelas de pedofoma convexa (Freitas et al., 2004).

No município de Divino-MG, assim como na maior parte da Zona da Mata de Minas Gerais, a agricultura familiar representa o maior número de estabelecimentos rurais. Segundo dados do IBGE (2017), dos 1606 dos estabelecimentos rurais do município, 1236 (77%) são da agricultura familiar. Entretanto, as propriedades rurais da agricultura familiar ocupam apenas 48% do total da área ocupada, o que indica que há concentração de terras. Em média, as propriedades familiares possuem 10,4 ha, enquanto as não familiares possuem em média 37,6 ha.

A atividade econômica no meio rural de Divino se concentra na cafeicultura e na pecuária bovina. O café ocupa 35 % da área agrícola do município, que possui boas condições climáticas e altitudes favoráveis para seu cultivo. As pastagens ocupam cerca de 50,5% da área rural do município, em torno de 13.563 ha, sendo que 49,5% estão em propriedades da agricultura familiar e 51,5% em propriedades não familiares (IBGE, 2017). No município, a criação do gado de leite é uma atividade muito tradicional e culturalmente importante, que contribui para a soberania alimentar e geração de renda na agricultura familiar. O rebanho bovino no município conta com cerca de 15.902 animais em diferentes categorias, sendo que a taxa de lotação média é de 1,17 cabeças/ha. Desse rebanho, 37,4% são vacas em idade reprodutiva (2 anos ou mais), e o número de vacas ordenhadas representa 17,3% do rebanho (IBGE 2017).

As pastagens pouco produtivas encontram-se, em muitos casos, degradadas. Para recuperar e aumentar a produtividade das pastagens, a divisão (piqueteamento) delas foi sugerida. Esta divisão faz parte do que se denominou “Redesenho Participativo das Pastagens”. A opção por priorizar a experimentação com a divisão em piquetes se deu em função da recorrência do tema durante a etapa de planejamento, e o grupo dos agricultores indicou a realização dessa prática como uma oportunidade de aprimorar o manejo das pastagens em suas propriedades e uma estratégia para se otimizar o uso das áreas e aumentar o rendimento e aproveitamento da forragem.

2.2. Caracterização das propriedades envolvidas

A pesquisa iniciou-se com a caracterização geral das propriedades participantes, com informações sobre área total do imóvel (ha), membros da família, principais cultivos da propriedade, principais produtos comercializados e meios de comercialização, maquinário e implementos disponíveis e criações animais na propriedade. Os aspectos específicos foram utilizados para a caracterização da criação animal, com enfoque no rebanho bovino. As informações levantadas foram sobre o manejo do esterco e resíduos, a raça bovina predominante, a base da alimentação animal, a área de pastagem (ha), as forrageiras predominantes na pastagem, as divisões da pastagem, a quantidade de animais na propriedade, as categorias de animais (bovinos), manejo reprodutivo e a estratégia alimentar no período seco.

A caracterização foi importante para compreender melhor a realidade das pastagens e as prioridades de cada família e serviu de base para o desenvolvimento da pesquisa.

2.3. Redesenho da pastagem

O processo de redesenho da pastagem foi realizado com base nos princípios da pesquisa-ação. As etapas, parte do ciclo da pesquisa-ação, utilizadas foram planejamento, implantação, monitoramento e avaliação. Neste ciclo, após a etapa de avaliação, um novo ciclo se reinicia. A avaliação permite identificar quais objetivos foram alcançados ou não e indicar os caminhos a serem percorridos no próximo ciclo (Tripp, 2005). Assim, o ciclo de pesquisa-ação serve de base para trabalhos subsequentes. Na pesquisa-ação, ajustes metodológicos podem ser realizados a cada ação, uma vez que o monitoramento envolve a avaliação contínua dos processos.

A pesquisa-ação exige esforços institucionais para potencializar o fluxo de conhecimentos e a geração de novos a partir da interação entre pesquisadores atuantes e diferentes realidades. Como parte deste esforço, um Programa Internacional de Pesquisa foi realizado. O Programa denominado Benefícios da natureza nas fronteiras agroflorestais: conectando atores, estratégias, biodiversidade funcional e serviços dos ecossistemas (FOREFRONT) apoiou a pesquisa. O Forefront foi fruto da cooperação internacional entre as Universidades de Wageningen, da Holanda, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Universidade Nacional Autónoma do México e o Colégio da Fronteira Sul, também do México. No Brasil, o programa foi desenvolvido em parceria com instituições locais como os Sindicatos de Trabalhadores da Agricultura Familiar de Araponga, Espera Feliz, Divino e a ONG Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM). Para o desenvolvimento da pesquisa aqui apresentada contou-se também com a participação de pesquisadores da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)

A pesquisa envolveu diretamente cinco propriedades da agricultura familiar, do município de Divino, cujas famílias proprietárias vem se empenhando em aprimorar as práticas envolvendo a criação animal sob a perspectiva da agroecologia. As cinco propriedades foram denominadas pelas iniciais do casal de proprietários (DE, RE, JA, AR e JD). Estas famílias compõem o coletivo denominado Mutirão da Criação Animal.

A etapa inicial de planejamento, em 2019, contou com reuniões técnicas de mapeamento e diagnóstico da realidade das propriedades e do contexto sócio-produtivo local. Após esta etapa, as famílias participantes disponibilizaram uma área de pastagem para as intervenções experimentais, com a aplicação de princípios agroecológicos e critérios estabelecidos coletivamente. Para a divisão das pastagens, optou-se pela tecnologia da cerca elétrica dada a sua praticidade e custo reduzido em comparação com a cerca de arame farpado tradicional.

Nessa etapa, os acordos da proposta foram estabelecidos paulatinamente. A cada família participante foi disponibilizado um recurso advindo do programa Forefront no valor de R\$2.000,00 como subsídio para as intervenções iniciais. Com base nesse recurso, iniciou-se o planejamento das intervenções.

Para melhor compreender as diferentes realidades e necessidades de infraestrutura e das características ambientais das áreas, adotou-se a metodologia das caminhadas transversais, que foram realizadas nas áreas de pastagem em cada propriedade. As caminhadas transversais

consistem em uma metodologia de análise e observação do ambiente e podem ser realizadas em grupo, onde as pessoas colocam suas diferentes percepções ambientais a fim de se identificar as potencialidades, limitações e possibilidades de cada ambiente (Verdejo, 2006). Em cada uma das propriedades foi realizada pelo menos uma caminhada.

Durante a caminhada um rápido diagnóstico foi realizado no campo, procurando reconhecer as principais características e mapear as pastagens. As principais características observadas foram relevo, face de exposição, feições topográficas, disponibilidade de água, presença de árvores, grau de conservação ou de degradação das pastagens, cobertura do solo, plantas indicadoras de qualidade e características dos solos. Durante as caminhadas, foram tomados pontos de referência utilizando sensor GPS modelo *Garmin Etrex20*. Estes pontos serviram como base para a demarcação de pontos orientadores necessários para iniciar a elaboração dos mapas e a delimitação dos piquetes.

Já em atividades realizadas individualmente com cada família, foram levantados dados sobre uso e ocupação do solo nas propriedades, rebanho bovino, infraestrutura (bebedouros, currais, área de ordenha, maquinário) e práticas de manejo nutricional e da sanidade dos animais.

2.3. Mapas do redesenho

Para a elaboração dos mapas das propriedades e demarcação das áreas a serem submetidas à divisão em piquetes, os pontos coletados foram visualizados na plataforma Google Earth[®]. Apesar das restrições quanto à precisão das ferramentas utilizadas, foi possível identificar nas imagens as áreas percorridas e os pontos de referência, permitindo assim dimensionar as áreas de forma satisfatória dentro do objetivo proposto.

Os mapas com as áreas demarcadas para a alocação dos futuros piquetes foram apresentados aos agricultores em encontros organizados em uma das propriedades envolvidas, mas com a presença dos demais agricultores participantes da pesquisa. Para isto, realizou-se a projeção dos mapas elaborados a partir das informações de campo por meio de um Datashow, de forma que todos pudessem visualizá-las. A partir da projeção dos mapas os ajustes sugeridos pelos agricultores foram sendo feitos com base em suas percepções e experiências com o manejo das pastagens e observações coletivas durante a caminhada transversal.

Um novo mapa e uma nova proposta de divisão e distribuição dos piquetes foi elaborada com base nesses diálogos. Um outro encontro, utilizando a mesma metodologia de elaboração dos mapas e divisão da pastagem, foi realizado em cada propriedade, com a participação mais direta da família e eventualmente representantes das outras. Neste encontro, o mapa reelaborado com as divisões em piquetes foi novamente submetido para as observações e sugestões. Com isto, um novo mapa e uma nova proposta de divisão foi feita considerando os as especificidades de cada pastagem e, principalmente, a viabilidade da proposta diante das implicações nas formas de manejo do rebanho, dos aspectos de bem estar animal, acesso a água e cuidados com a conservação do solo. Assim, o processo de elaboração dos mapas e da divisão das pastagens contou com a participação efetiva dos agricultores.

Os materiais necessários para a divisão das pastagens em cada propriedade foram definidos, de acordo com o valor disponibilizado para cada família. A família definiu de forma autônoma as prioridades na compra de materiais visando atender as suas demandas. A etapa de implantação da divisão de pastagens foi realizada com os agricultores normalmente em mutirões, principalmente a primeira etapa, quando foram alocados os mourões e arames para o cercamento elétrico. Na segunda, as pegas e molas das porteiras foram confeccionadas artesanalmente, sendo instalados junto com os isoladores. Em todas as atividades preconizou-se a articulação entre os saberes técnico-científicos com o saber dos agricultores adquiridos em suas vivências, observações e percepções cotidianas e com os mais velhos.

2.4. Árvores na pastagem

A avaliação das árvores presentes na pastagem foi realizada em uma das propriedades participantes da pesquisa, aqui denominada DE. As árvores foram georreferenciadas e identificadas de acordo com o conhecimento do agricultor e pelo nome científico ao nível de gênero ou espécie. As árvores também foram caracterizadas de acordo com suas funções nas pastagens na propriedade e com relação as suas características como dureza e cor da madeira, porte e formato de copa e tipo de folhas. Essa caracterização foi feita com base nos conhecimentos do agricultor informante.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização das propriedades e das pastagens

A caracterização das propriedades, realizada com cada família, encontra-se na Tabela 1. A área total das propriedades variou de 6,2 a 24 hectares. Em todas as propriedades a

cafeicultura e pecuária de leite são atividades importantes para a para a comercialização e geração de renda. Em duas propriedades a horticultura é também importante para a comercialização.

Para quatro famílias a obtenção de esterco é um dos principais objetivos da criação bovina, o que se deve principalmente ao processo de transição para a produção orgânica de café. Além do café orgânico, em todas as propriedades o esterco é utilizado para a produção de hortaliças, mas a demanda é maior nas duas onde as hortaliças são comercializadas (Tabela 1).

A pré-compostagem no curral é realizada em todas as propriedades, mas em apenas duas delas utiliza-se esterqueira no processo de compostagem, onde também vem realizando a prática da vermicompostagem. Em duas propriedades há a adição de pó de rocha ao esterco, em uma delas o pó de rocha é adicionado no início do processo de compostagem propriamente. Em uma das propriedades o pó de rocha, em fase de teste, é adicionado durante a pré-compostagem com palha de café no curral (Tabela 1).

Tabela 1 – Caracterização das propriedades e famílias envolvidas no processo de experimentação participativa com o Redesenho das pasatagens, Divino, Minas Gerais.

Propriedade/família	DE	RE	JA	AR	JD
Área da propriedade (ha)	24	12	13	6,2	18
Membros da família	2 adultos, 2 jovens e 1 criança	2 adultos, 2 jovens e 1 criança	2 adultos e 1 criança	2 adultos, 1 jovem e 1 criança	2 adultos e 1 criança
Principais culturas na propriedade	Café, fruticultura diversificada, hortaliças, milho, feijão e mandioca	Café, fruticultura diversificada, milho, feijão e mandioca	Café, milho, feijão, hortaliças, mandioca e banana	Café, hortaliças, fruticultura diversificada, amendoim, milho, feijão e mandioca	Café, milho, feijão e mandioca
Principais produtos comercializados	Hortaliças, Café em grão, leite e quitandas	Café em grão e leite	Café em grão e leite	Café em grão, café torrado, moído e embalado, frutas, hortaliças, milho de pipoca e amendoim	Café em grão e Leite
Principais meios de comercialização	Hortaliças e quitandas: Venda direta, feira livre, cestas via cooperativa; Café: armazém; Leite: Laticínio	Café: armazém; Leite: Laticínio	Café: armazém; Leite: Laticínio	Café: armazém e venda direta; frutas e hortaliças: venda direta, feira livre, cestas via cooperativa; Amendoim e milho de pipoca: venda direta	Café: armazém; Leite: Laticínio
Maquinário e implementos	Ensiladeira, Picadeira, Roçadeira, Tratorito (7cv)	Picadeira, roçadeira, ensiladeira.	Carroça, roçadeira, derriçadeira. Trator coletivo	Picadeira, roçadeira, tratorito (7 cv), caminhonete (Ford - f75)	Ensiladeira, Roçadeira, Perfuratriz
Criação de animais	Bovinos, suínos e aves	Bovinos, suínos e aves	Bovinos, suínos e aves	Bovinos e aves	Bovinos, suínos, aves e ovinos
Manejo do esterco e resíduos	Compostagem (capim picado, palha de café, serrapilheira), Minhocário (húmus), armazenamento e uso de urina de vaca	Compostagem com palha de café no curral, compostagem a céu aberto	Compostagem e Vermicompostagem. Utiliza pó de rocha	Compostagem no curral (pó de rocha, palha do milho, palha do café)	Compostagem com palha de café no curral

Na Tabela 2 encontram-se a caracterização das pastagens e da criação de bovinos. Observa-se que as propriedades envolvidas são bastante distintas em diversos aspectos. Em apenas uma das propriedades não havia divisões na pastagem, sendo essa a propriedade o maior percentual de área de pastagem em relação à área total da propriedade. A *Branchiaria decumbens* é a forragem predominante em duas das pastagens, nas demais há predomínio de *Urochloa brizantha* ou ambas.

Em todas as propriedades, exceto uma, há suplementação de volumoso no período seco, principalmente com cana-de-açúcar, capim Napier picado ou silagem de cana-de-açúcar ou milho. Em duas propriedades utiliza-se também o pseudocaule da bananeira (Tabela 2). A propriedade que não suplementa, possui o menor rebanho (uma vaca e duas bezerras). Dentre os aspectos comuns a todas as propriedades estão a predominância racial (Girolando) e o sistema de reprodução, realizado a partir de monta natural.

As características ambientais e condição geral das pastagens encontra-se nas Tabelas 3 e 4. As pastagens selecionadas encontram-se nas encostas e predominantemente na pedoforma convexa, com a ocorrência de poucas pedoformas côncavas. Uma das pastagens que não possui pedoforma côncava e seu relevo é mais regular, com predominância de pedoforma linear a ligeiramente convexa. A classe de solo também varia, mas de forma geral, principalmente nas pedoformas convexas, predominam os Latossolos, profundos como é típico desta classe de solos. Apenas uma das propriedades (AR) apresentou exposição do material de origem, sendo também a propriedade situada na maior altitude (Tabela 3). Nesta propriedade, o afloramento de rochas e solos rasos restringiram a distribuição dos piquetes, e embora não classificado, certamente possui outra classe de solo. Algumas possuem árvores na pastagem e boa cobertura vegetal, mas algumas apresentam sinais de degradação, indicada pela exposição do solo e marcas de erosão. Duas propriedades (DE e AR) apresentam maior ocorrência de árvores na pastagem, o que está muito associado ao manejo, em condições de maior declividade (Tabela 3).

Tabela 2. Caracterização das pastagens, estratégia alimentar e rebanho nas propriedades participantes da pesquisa

Propriedade/família	DE	RE	JA	AR	JD
Área de pastagem (ha)	16	9	4,5	2,5	15
Pastagens na propriedade (%)	66,7 %	75,0 %	34,5 %	40,3 %	83,3 %
Divisões da pastagem	6 divisões	5 divisões	2	2	sem divisões
Forageiras predominantes na pastagem	<i>Urochloa brizantha</i> , <i>Brachiaria decumbens</i>	<i>Urochloa brizantha</i>	<i>Brachiaria decumbens</i>	<i>Brachiaria decumbens</i>	<i>Urochloa brizantha</i> , <i>Brachiaria decumbens</i>
Base da alimentação animal	Pastagem, Capim de corte, Cana, Bananeira, Margaridão	Pastagem, silagem (milho + lab lab + feijão + guandu), capim de corte e fubá	Pastagem, silagem de milho, capim de corte e fubá	Pastagem, fubá	Pastagem, capim de corte, silagem e fubá
Rebanho bovino	14 animais	37 animais	19 animais	3 animais	26 animais
Categorias de animais	3 vacas em lactação, 4 vacas secas, 5 bezerros, 1 garrote	12 vacas em lactação, 8 vacas secas, 17 bezerros	3 Vacas em lactação, 5 vacas secas; 2 novilhas, 6 bezerras e 3 bezerros	1 Vaca em lactação e duas bezerras	7 vacas em lactação, 10 vacas secas, 8 novilhas, 1 touro
Raça bovina predominante	Girolando	Girolando	Girolando	Girolando	Girolando
Reprodução	Monta natural	Monta natural	Monta natural	Monta natural	Monta natural
Estratégia alimentar no período seco	Capim picado, Cana e bananeira no cocho	Capim picado, silagem e cana no cocho	Capim picado, silagem de milho, cana e bananeira no cocho	Mantem a pasto	Capim e cana picados no cocho, silagem de milho

¹Iniciais dos nomes do casal de proprietários

Tabela 3. Diagnóstico das áreas de pastagem destinadas ao redesenho. Divino-MG

Propriedade ¹	Condições Ambientais	Condições ambientais e da pastagem
DE	Área com declividade não muito acentuada, acesso a água na parte mais alta (topo do morro). Solo com boa estrutura. Pedoforma: côncava e convexa	Alta diversidade de espécies vegetais (herbáceas, arbustivas e arbóreas) com a presença de árvores já bem estabelecidas na pastagem; área bem manejada há algum tempo, com mínimo controle das taxas de lotação; boa cobertura vegetal; e sem sinais de solo exposto
RE	Solo com fertilidade relativamente baixa indicada pela vegetação, com boa qualidade física, Área com grande comprimento de rampa e alta declividade. Sem acesso a água na porção mais alta. Pedoformas: côncava e convexa	Pastagens com árvores esparsas, mas com muitas mudas de espécies arbóreas em um processo de regeneração natural, com potencial de crescimento caso utilize a bateção seletiva; alta diversidade de plantas herbáceas. Possui capineiras de boa qualidade, que suprem a demanda nutricional do rebanho. Ocorrências pontuais de erosão em sulcos.
JA	Área com baixa declividade, terreno regular. Solo com pouca ou nenhuma estrutura, poento e muito duro quando seco; face de exposição norte; e alta radiação e baixa umidade. Pedoformas: convexa e linear	Facilidade de acesso pelos animais. Ocorrência de solo exposto, baixa capacidade para o desenvolvimento de plantas. Ocorrência de erosão laminar. Plantação de eucalipto ao lado da pastagem que pode estar comprometendo a dinâmica hídrica do solo.
AR	Solo jovem, com boa fertilidade; área com alta declividade; exposição de rochas, principalmente na região central da pastagem; acesso restrito a água e, na porção mais alta da pastagem, há fluxo de água somente na época das chuvas. Pedoforma: côncava e convexa	Diversidade de espécies vegetais, presença de árvores, possibilidade de diferentes acessos dos animais à pastagem.
JD	Diferentes feições morfológicas da paisagem, com pedoformas convexas e côncavas; fácil acesso a água; pastagem voltada para a face noroeste, com alta insolação que proporciona baixa retenção de umidade, mas favorece o consórcio com árvores. Pedoformas: côncava e convexa	Área com boa cobertura vegetal em grande parte, mas com solo exposto, principalmente nas bordas das pedoformas côncavas que apresentam declividade acentuada; pouca diversidade de plantas e baixa ocorrência de árvores na pastagem.

¹Iniciais dos nomes do casal de proprietários

A topografia e a exposição solar das pastagens variaram (Tabela 4). Elas se encontram entre 700 a 1000 m de altitude; as faces de exposição solar das encostas variaram muito, com cada pastagem possuindo uma face de exposição; houve variação considerável também na declividade (de 16% a 42%).

A face de exposição e a declividade exerceram influência sobre a qualidade das pastagens. As áreas com face de exposição mais voltadas ao norte apresentaram maior ocorrência de solo exposto, devido a menor capacidade de retenção de umidade no solo e por consequência maior dificuldade de estabelecimento e recomposição da forragem em função do pastejo.

Nestas áreas, a arborização é ainda mais necessária para reduzir o estresse ambientais, com redução do efeito dos ventos, da temperatura e radiação solar e manutenção da umidade do solo (Pezzopane et al., 2015). Em relação as demais faces, na face norte não há, ou há menor, competição por luz entre a forrageira e as árvores, pois ocorre naturalmente maior incidência de radiação.

A declividade, assim como o comprimento de rampa, também influencia as condições da pastagem, pois quanto maiores esses valores, maior é a tendência à erosão. Para mitigar tal efeito, pode se adotar práticas mecânicas de conservação do solo como terraços, construção de barraginhas e caixas secas, como já observados na propriedade RE. A declividade é muito associada às pedoformas. Em geral as pedoformas côncavas possuem menores declividades no fundo e maiores declividades em seu entorno, que em geral se aproximam do terço superior. As pedoformas convexas possuem declividades variáveis.

Tabela 4. Condições topográficas das áreas de pastagem destinadas ao redesenho - Divino, Minas Gerais

	Propriedade¹				
	DE	RE	JA	AR	JD
Altitude mínima	803	705	860	901	838
Altitude máxima	829	757	922	996	895
Média de altitude	816	731	891	949	867
Face de exposição	SO	L	N	O	NE
Ganho de elevação (m)	10	52	62	68	50
Comprimento de declive (m)	67	135	351	164	242
Declividade média (%)	15,57	38,52	17,66	41,71	20,70

¹Iniciais dos nomes do casal de proprietários

O terço superior, em geral mais declivoso, e os topos (quase sempre estreitos, mas planos) das encostas deveriam ser isolados para proteger as áreas mais declivosas contra a erosão, diminuir o efeito do comprimento de rampa sobre o escoamento superficial e aumentar a recarga hídrica do solo, que ocorre principalmente nos topos (Teixeira, 2015). A divisão de pastagens, afinal, não sinônimo de fazer pequenos piquetes. A divisão é necessária para adequar as pastagens em função das feições topográficas do relevo, o que significa isolamento de algumas áreas, para facilitar o manejo e para proteger as pastagens.

A paisagem da Zona da Mata Mineira é heterogênea com muita diversidade ambiental, indicada facilmente pela pedofoma. A mudança da pedofoma indica variações de declividade, de solo, de aspectos microclimáticos e de vegetação (Freitas et al., 2004). Portanto, a heterogeneidade cria uma diversidade de pedoambientes que favorece a diversificação e a integração com as áreas florestadas quando presentes. Tal heterogeneidade é, entretanto, um desafio ao redesenho, mas não representa necessariamente um obstáculo ao manejo agroecológico ou à divisão das pastagens (Freitas, 2009), até mesmo em piquetes. Entretanto, esta diversidade de condições ambientais, especialmente as topográficas, precisam ser consideradas no momento de intervenção na pastagem.

No redesenho das pastagens, buscou-se valer dessa heterogeneidade de maneira que as áreas de pastagem selecionadas pudessem ser utilizadas da forma mais racional e conservativa possível respeitando os princípios do manejo agroecológico de pastagens em áreas montanhosas. A agroecologia respeita a diversidade local e, como princípio, propõe que os problemas sejam analisados localmente e que a busca de soluções respeite e potencialize a diversidade local.

3.2. Divisão das pastagens e formação dos piquetes

3.2.1. Participação das famílias e critérios para a demarcação dos piquetes

Os Mapas das pastagens indicando a formação dos piquetes encontram-se na Figura 1. Estes mapas são os resultados das últimas análises, revisões e alteração a partir dos diálogos com os agricultores. Eles são o resultado de duas ou três (a depender da propriedade) versões dos mapas elaboradas anteriormente. Isto porque, durante o processo do redesenho das pastagens, o engajamento e participação dos agricultores ocorreu em um processo de aproximação, onde as percepções e observações dos agricultores foram simuladas, reavaliadas e incorporadas, o que resultou em uma evolução dos desenhos que foram modificados ao longo

do processo de redesenho. As revisões foram necessárias para chegar a um desenho que contemplasse as expectativas das famílias e para viabilizar a formação dos piquetes a partir dos critérios propostos pelo grupo.

As revisões ocorreram não só em função da observação das famílias, mas também em função dos aprendizados do próprio pesquisador, adquiridos no próprio processo de redesenho. Por exemplo, a participação na caminhada e mapeamento da pastagem de um, serviu de aprendizado para a caminhada e mapeamento do outro. Isto demonstra quão dinâmico é processo de construção do conhecimento quando agricultores e agricultoras são incorporados como sujeitos e não como objetos da pesquisa (Laranjeira, 2019), o que permite incorporar dimensões culturais muitas vezes negligenciadas nos projetos de pesquisa e que são imprescindíveis na produção do conhecimento científico envolvendo comunidades rurais. Estas revisões estão de acordo com os princípios da pesquisa-ação, pois à medida em que os diálogos ocorrem, novas compreensões e soluções vão sendo encontradas para os problemas que surgem (Fillipo, 2011).

Os agricultores demonstraram percepções práticas sobre os temas relacionados a proposta de pesquisa, que incluíram aspectos da paisagem, do manejo dos rebanhos, do emprego dos materiais e da própria mão de obra necessária na condução do projeto. Sabe-se que as bases de conhecimento local e técnico-científico compartilham de conceitos básicos comuns, e também possuem lacunas que podem ser complementados quando há articulação entre ambos (Barrios, 2011). A pesquisa-ação favorece esta articulação e favorece as tomadas de decisões.

Os agricultores demonstraram também precisão na percepção espacial, mesmo em relação a áreas previamente pouco conhecidas por eles. Após a caminhada e reflexões a partir das imagens disponíveis, projetadas via datashow, eles reconheceram as feições das pastagens com grande facilidade, bem como as áreas circundantes e suas influências. Esta capacidade de observação e entendimento das imagens foi apontada também por Portes (2010), que destacou a potencialidade da utilização do sistema de informações geográficas (SIG) em abordagens participativas junto a agricultores e agricultoras no reconhecimento local e definição de estratégias de manejo.

O profundo conhecimento dos agricultores acerca de seus agroecossistemas permitiu apontar os critérios a serem utilizados para a divisão das áreas, o que associado a relação de

confiança entre os membros do grupo, fruto de um longo trabalho em conjunto, gerou um ambiente propício para o redesenho tanto em sua propriedade como nas dos demais membros do grupo.

A contribuição coletiva foi efetiva e necessária na definição de critérios e locais de alocação dos piquetes, pontos de água e corredores de acesso. Os principais critérios práticos indicados para a alocação dos piquetes foram o comportamento dos animais, o acesso a água, a forma do relevo, a resposta da forragem para cada feição do relevo, otimização do uso de materiais e a forma e acesso dos piquetes.

O comportamento animal influenciou a divisão considerando que os animais possuem caminhos preferenciais pela pastagem, por onde normalmente entram e saem ao longo do dia. A observação dos agricultores acerca desses caminhos foi considerada no estabelecimento dos acessos aos piquetes, dado que esse aspecto impacta diretamente no manejo cotidiano do rebanho, pois facilita o trabalho de condução dos animais. Observou-se que os acessos realizados espontaneamente pelos animais situavam-se justamente nas porções mais favoráveis em termos de relevo, com menor declividade e menos susceptíveis à erosão, e foram considerados ideais para o estabelecimento de corredores de acesso e porteiras.

A disponibilidade de água foi considerada também como prioridade, dado que os animais precisam ter acesso livre a esse bem essencial para a vida. Assim, foi adotado um desenho que permitiu áreas de acesso livre onde foram implantados ou já haviam bebedouros disponíveis. Essas áreas foram alocadas preferencialmente em locais com disponibilidade de sombra que, principalmente nas horas mais quentes do dia, é necessária para o repouso dos animais. Para isso, também foi observado o movimento de projeção da sombra das árvores para a escolha desses locais.

Como nem todas as propriedades possuem disponibilidade a água nas porções mais elevadas do terreno, teve-se o cuidado de se estabelecer ao menos uma área de acesso livre aos animais e comum a todos os piquetes. Essas áreas, também chamadas de “área de lazer”, com acesso a água e sombra, são importantes para não submeter os animais a extremos de temperatura e radiação solar durante o período de ocupação, principalmente nas pastagens não arborizadas. A restrição de acesso à sombra e água ao rebanho é possivelmente a principal causa de estresse térmico (Paranhos da Costa, 1997), que compromete a ingestão de forragem e conseqüentemente o desempenho. Por isto, dentre outros fatores, a arborização das pastagens e

o acesso livre à água é importante. Há inclusive associação entre o consumo de forragem e a distância da fonte de água. Gillen (1984), estudando pastejo com lotação por pares de vaca-bezerro, em sistemas contínuo e rotacionado, verificou que os animais tendem a consumir preferencialmente a forragem a menos de 200m de distância, evitando o pastejo em áreas acima de 600m de distância do bebedouro.

As diferentes feições do relevo também orientaram a distribuição e tamanho dos piquetes. Aqueles situados em porções mais declivosas, tanto côncavas como convexas, tiveram maiores dimensões em relação aos piquetes situados em porções mais baixas e menos declivosas da paisagem. Esse critério foi adotado com base nas observações de campo e no relato dos agricultores quanto à capacidade de recuperação da forragem para as distintas feições do relevo. Considerou-se também que áreas mais declivosas apresentam maiores impedimentos ao trânsito dos animais, assim, a ampliação da área dos piquetes foi adotada nesse tipo de situação.

O relevo movimentado, típico da Zona da Mata de Minas Gerais (Freitas et al., 2004), apresentaram certos desafios na alocação dos piquetes. Entretanto, a diversidade de ambientes, criada pela heterogeneidade topográfica, ofereceu possibilidades outras como melhor definição da área de lazer, sombreamento natural em determinada parte do dia, porções com melhor fertilidade do solo e maior retenção de umidade, fatores esses que influenciam não só a produtividade da pastagem como também a conservação do solo.

A otimização do recurso financeiro disponível e o uso racional dos materiais foram também critérios importantes para definir o dimensionamento dos projetos, principalmente em relação aos componentes da cerca elétrica, como arame eletrificado e isoladores. Buscou-se aproveitar as cercas já instaladas na delimitação das áreas. Além disso, outros itens considerados importantes também foram adquiridos.

Sempre que possível, optou-se por priorizar piquetes mais próximos da forma quadrada, evitando piquetes muito alongados e estreitos ou com quinas. A forma quadrada é a ideal, pois representa o menor perímetro, o que reduz os custos. A forma quadrada também tende a diminuir os efeitos comportamentais da hierarquia social no rebanho. Porém, nem sempre o relevo permite a adoção da forma quadrada das parcelas. Nesses casos, piquetes retangulares são aceitáveis desde que a relação entre largura e comprimento seja inferior a 1:3.

As condições de acessos aos piquetes foi uma das principais dificuldades encontradas para a subdivisão das pastagens, devido a declividade elevada nas áreas, o que pode provocar erosão do solo pela circulação frequente dos animais pelos corredores de acesso. Formas de facilitar o acesso foram amplamente discutidas com as famílias. Para atenuar o efeito da declividade procurou-se alocar os acessos nas porções mais suaves do relevo e considerou-se o comportamento dos animais, identificando as áreas preferenciais de deslocamento no dia-a-dia.

3.2.2. Dimensionamento dos piquetes

Na Tabela 3 encontram-se os dados do dimensionamento dos piquetes demarcados nas áreas de pastagem selecionadas para o redesenho. Devido às condições ambientais e aos objetivos de cada família, a área destinada ao redesenho das pastagens variou (de 0,95 a 3,80 ha) entre as unidades produtivas (Tabela 5). A área das pastagens destinadas ao redesenho é menor do que as áreas de pastagem existentes nas propriedades e, futuramente, novas áreas podem ser incorporadas ao sistema de manejo rotacionado, a partir da experiência adquirida pelo agricultor e das condições financeiras.

Tabela 5. Piquetes desenhados em pastagens de propriedades da agricultura familiar e participantes do projeto de redesenho das pastagens, Divino, Minas Gerais

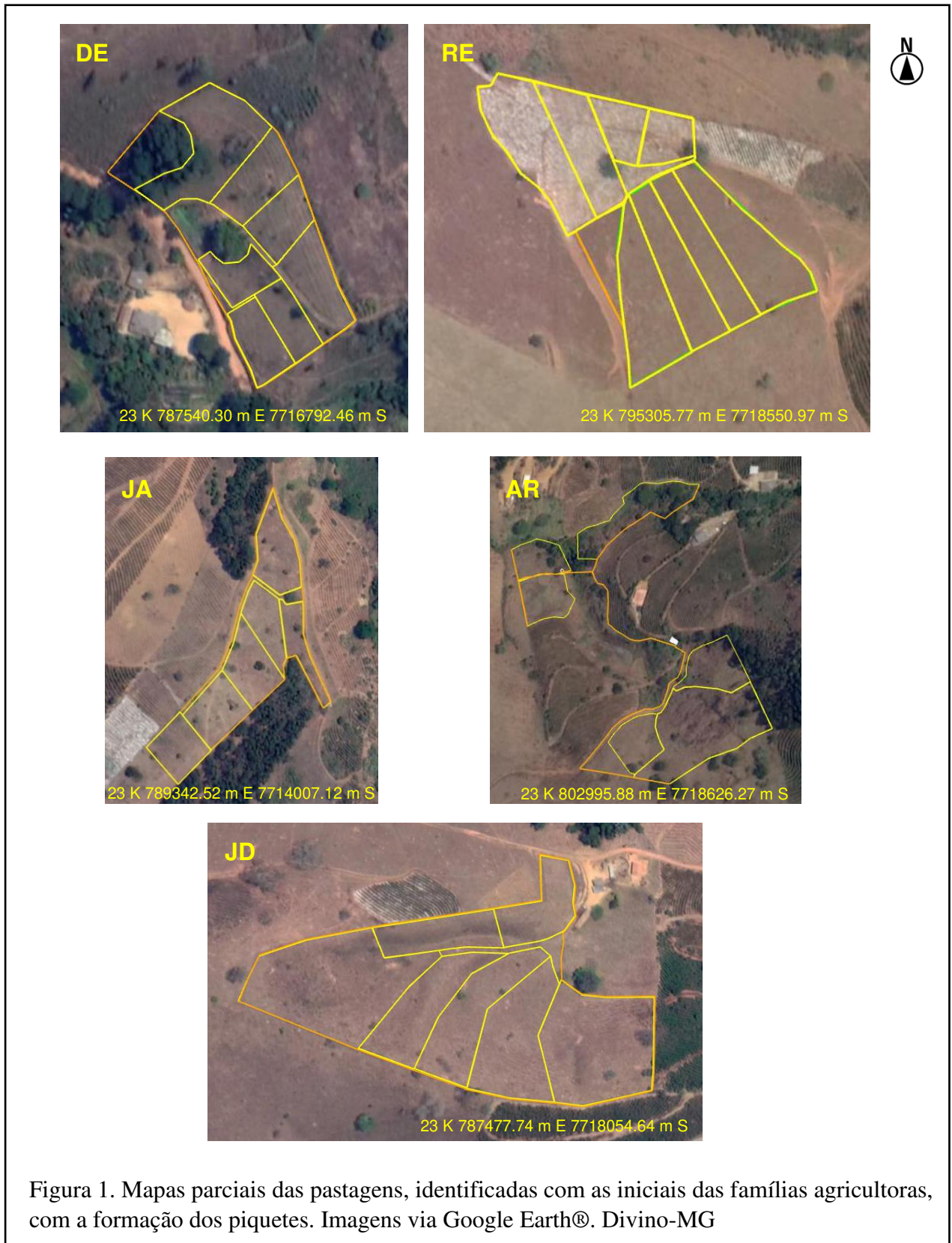
	Propriedade ¹				
	DE	RE	JA	AR	JD
Área da pastagem destinadas ao redesenho(ha)	0,95	2,00	1,50	2,30	3,80
Área total dos piquetes (ha)	0,74	1,90	1,40	2,30	3,60
Número de piquetes	7	8	6	6	8
Área média dos piquetes (m²)	1053	2357	2320	3871	4516
Maior área piquete (m²)	1984	3643	3057	7745	8327
Menor área piquete (m²)	697	1103	1734	802	1069

¹Iniciais dos nomes do casal de proprietários

No geral, o número de piquetes em cada sistema foi próximo (de 6 a 8), mas a área útil de cada sistema variou muito (de 0,74 ha a 3,6 ha), bem como o tamanho do menor e maior piquete estabelecido (de 697 a 8.327 m²). Esta heterogeneidade dos piquetes se deu a priori em função os objetivos e experiências dos agricultores, do tamanho da área disponibilizada em cada propriedade e das características ambientais, como relevo e acesso a água (Tabela 5).

A delimitação da área destinada ao redesenho e a definição do tamanho dos piquetes foram influenciadas também pela proposta do projeto. O projeto de redesenho não previu o

redesenho completo de toda a pastagem, transformando-a toda em manejo rotacionado, pois o objetivo foi de realizar uma experimentação piloto utilizando-se das tecnologias apropriadas para tal. A experimentação contribuiu para que todos compreendessem melhor as diferenças entre o manejo rotativo e o pastejo contínuo por parte dos agricultores.



3.3. Árvores nas pastagens

Em uma das propriedades (DE), um total de 22 indivíduos arbóreos de 15 espécies diferentes (Tabela 6) já estabelecidas nas áreas dos piquetes foram georreferenciadas (Figura 2). Próximo aos piquetes, há ainda um bambuzal e um pequeno bosque de eucalipto com mais de 16 anos, que servem como fonte de madeira para diferentes usos na propriedade, especialmente para utilização como mourões, além de promover sombra em parte da área durante a tarde.

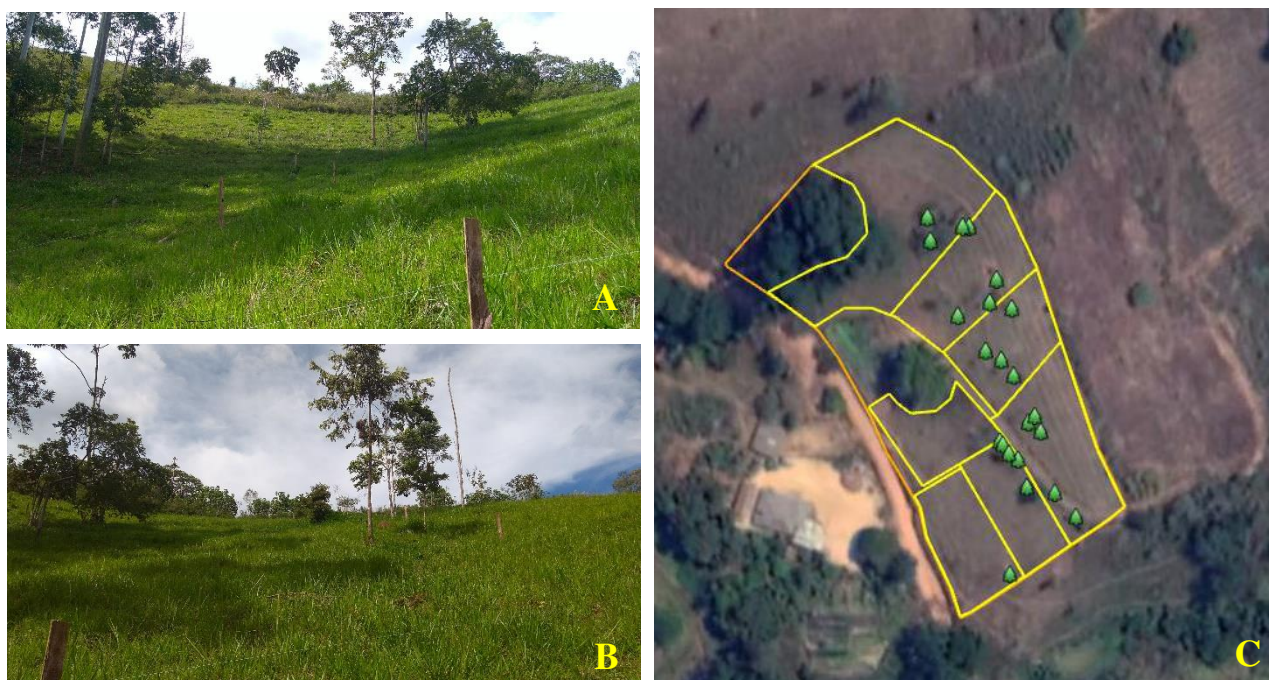


Figura 2. Visões parciais da pastagem sombreadas pelas árvores próximas (A e B) e distribuição das árvores na pastagem (C). Divino, MG

Algumas destas árvores foram avaliadas como compatíveis e outras como não compatíveis com a pastagem (Tabela 6). A compatibilidade foi avaliada pelo agricultor primeiramente pela sua interação com a pastagem, indicada por ele com “prejudica ou não prejudica o capim”. Eucalipto, mama de porca, abacateiro, embaúba, papagaio, pau-colher, capoeira branca, seriguela, ameixa foram consideradas não prejudiciais a pastagem. Estas, em geral, são plantas de crescimento rápido e fácil ocorrência na região. Jacarandá, garapa, jambo, cinco folhas foram consideradas, pelo agricultor, como prejudiciais à pastagem. O agricultor não soube informar sobre a compatibilidade do café-do-mato e da maria-preta com a pastagem.

Tabela 6. Árvores identificadas em pastagem por nome popular e científico e características indicadas pelo agricultor, Divino-MG.

	Nome popular	Nome científico	Características
1	Eucalipto	<i>Eucalyptus spp.</i>	madeira de dureza intermediária, crescimento rápido. Poucas árvores não prejudicam a pastagem
2	Mama de Porca	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	madeira de dureza intermediária, sombra moderada e não prejudica a pastagem
3	Abacateiro	<i>Persea spp.</i>	madeira de baixa dureza, boa sombra, dá frutos e não prejudica a pastagem
4	Embaúba	<i>Cecropia pachystachya</i>	madeira de baixa dureza, oca, não prejudica a pastagem, dá condição a outras árvores nascerem
5	Papagaio	<i>Aegiphila sellowiana</i>	madeira de baixa dureza, aparece com facilidade, dá sombra e não prejudica a pastagem
6	Pau-colher	<i>Tabernaemontana spp.</i>	madeira de baixa dureza, não prejudica a pastagem e dá sombra
7	Capoeira Branca	<i>Solanum mauritianum Scop.</i>	madeira mole, as vacas comem. Não prejudica a pastagem
8	Seriguela	<i>Spondias purpúrea</i>	madeira de baixa dureza, brota com facilidade, os animais comem as folhas, pega de estaca
9	Ameixa (Nêspera)	<i>Eriobotrya japônica</i>	madeira de dureza média. Não prejudica a pastagem, possui baixa persistência na pastagem
10	Jacarandá	Não identificada	madeira densa, alta dureza. Prejudica a pastagem, resseca o capim
11	Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i>	madeira densa, alta dureza. Prejudica a pastagem
12	Jambo	não identificada	madeira densa, alta dureza. Prejudica a pastagem
13	Cinco folhas	<i>Sparattosperma leucanthum</i>	prejudica um pouco a pastagem, pretende retirar
14	Café-do-mato	não identificada	sem informações
15	Maria-Preta	não identificada	sem informações

Segundo o agricultor, as espécies arbóreas que possuem madeira “mole” não prejudicam a pastagem. Estas geralmente se enquadram no grupo das pioneiras no estágio de sucessão e quando diversificadas no sistema permitem aporte contínuo de material senescente de decomposição diferenciada, favorecendo a expressão de diferentes funções da matéria orgânica

como proteção do solo, manutenção da umidade e a ciclagem de nutrientes (Duarte, 2011). Estas são árvores de crescimento mais rápido e ciclo curto, fornecem sombra, bem como dinamizam a ciclagem de nutrientes pela senescência de folhas e galhos, além de favorecer o crescimento de outras árvores.

Segundo o agricultor, árvores que possuem madeira “dura”, de alta densidade, prejudicam o desenvolvimento do capim. A percepção é de que estas árvores ressecam mais o solo. Normalmente estas espécies, que possuem madeira de maior densidade, são comuns em povoamentos florestais em estágio mais avançado de sucessão e possuem crescimento lento quando comparadas a espécies arbóreas pioneiras, de crescimento rápido e baixa densidade de madeira (Poorter, 2008).

As percepções apresentadas, contudo, devem ser contextualizadas, podendo as espécies mencionadas apresentar comportamentos variáveis em ambientes com diferentes condições edafoclimáticas e até mesmo de sistema de manejo. O eucalipto, por exemplo, é mencionado como não prejudicial ao desenvolvimento da pastagem, mas isso foi observado em uma condição de povoamento florestal em área de aproximadamente 1200 m², com cerca 15 anos desde o plantio e em cultivo em que indivíduos foram retirados pelo agricultor ao longo do tempo para obtenção de madeira destinada ao uso na propriedade, diferindo por exemplo de cultivos comerciais para outras finalidades como carvão ou até mesmo para serraria. De forma contextualizada e reflexiva, as percepções do agricultor indicam que o manejo e as diferentes funções de determinadas espécies podem torná-las ou não compatíveis com a pastagem.

Outros critérios para a manutenção das árvores na pastagem foram apontados pelo agricultor e podem permitir a presença das árvores não tão compatíveis com a pastagem, desde que em pequenas quantidades. Estes critérios referem-se principalmente aos serviços (benefícios) ecossistêmicos de provisão (Teixeira et al., 2020) relacionados à funcionalidade das árvores como produção de frutas, fonte de alimento aos animais, lenha, construções e ferramentas; e aos serviços (benefícios) ecossistêmicos de suporte (Teixeira et al., 2020), relacionados às características estruturais, como tipo de folhas, grau de senescência, velocidade de decomposição e arquitetura de copa, diretamente associados com a ciclagem de nutrientes e nível de sombreamento na pastagem. Assim como apontado em outros estudos de compatibilidade de árvores com a pastagem (Freitas, 2009, Souza, 2010), a preferência é por árvores com arquitetura de copa mais aberta (mais entrada de sol) e que possuam folhas

compostas ou recompostas (menores para não “abafar” o capim) ou de decomposição rápida quando caem sobre o solo.

Durante os encontros, caminhadas e conversas, a importância das árvores na pastagem foi amplamente reconhecida pelos agricultores. A arborização de pastagens, contudo, é reconhecidamente desafiadora, dada a dificuldade de estabelecimento de mudas e persistência de árvores, além do custo e tempo envolvidos nos processos de arborização (Lopes et al., 2021).

Durante a pesquisa, observou-se que há dificuldades em proteger as árvores nos eventos de pastejo em função do custo, mas há técnicas simples que podem ser utilizadas. Uma técnica simples foi relatada por um agricultor Puri do município de Araponga e que, segundo ele, foi um aprendizado ancestral com sua mãe. Esta técnica consiste na disposição de galhadas nas pastagens, que geram um microclima propício a emergência de espécies pioneiras, além de atrair espécies dispersoras da fauna, principalmente aves silvestres. Na propriedade DE, cinco indivíduos arbóreos foram observados sob galhadas. Outra estratégia muito discutida foi a bateção seletiva, que consiste em manter determinadas espécies arbóreas quando se faz o trabalho de retirar espécies indesejadas da pastagem. Essa prática foi apontada pelos agricultores como eficaz no incremento de árvores nas pastagens.

4. CONCLUSÕES

O diagnóstico participativo permitiu a elaboração de propostas de redesenho das pastagens e que atendessem os objetivos de cada família facilitando o manejo diário dos animais e que fossem viáveis, no que se refere aos materiais utilizados.

A participação e envolvimento dos agricultores no desenvolvimento das ações e na tomada de decisões foi imprescindível para o planejamento e execução da proposta de redesenho das pastagens. A utilização das imagens tanto de forma coletiva como individual demonstrou a potencialidade das ferramentas de sensoriamento remoto em abordagens participativas, onde a percepção e experiência dos agricultores e os saberes técnico-científicos se complementam e contribuem para a construção de novos conhecimentos.

Os diálogos relacionados ao manejo de árvores possibilitaram compreender melhor as funções das diferentes espécies e seus benefícios para os agroecossistemas, incluindo o desenvolvimento das plantas forrageiras. O uso de técnicas desenvolvidas pelos agricultores e o uso dos princípios agroecológicos de manejo favorecem a implantação de árvores nas

pastagens. Pesquisas futuras devem se ater mais especificamente sobre o processo de arborização de pastagens de forma mais adequada à realidade dos agricultores.

A heterogeneidade ambiental da Zona da Mata de Minas Gerais com variações de feições topográficas pode representar um desafio à implementação do manejo rotacionado nos moldes adotados em outras regiões, porém a sua adaptação às condições montanhosas pode favorecer a sustentabilidade da criação de bovinos a pasto, pois permite aumentar a eficiência de uso das áreas e minimizar a perda da qualidade ambiental dos agroecossistemas.

A proposta de redesenho abrangeu diversos aspectos como a divisão das áreas de pastagem, a conservação de solo e água nesses ambientes e o aumento da biodiversidade pelo incremento do componente arbóreo. Mesmo realizada de forma experimental e parcial, a proposta de redesenho apresentou potencial para a sustentabilidade da criação de bovinos a pasto em regiões montanhosas e deve ser aprimorada e melhor estudada em pesquisas futuras.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTIERI, M. **Agroecologia: Bases Científicas para uma Agriocultura Sustentável**. Porto Alegre: Guaíba Agropecuária, 2002, 592p.
- ASSIS, R. L., DE AQUINO, A. M., PRADO, R. B., BORBA, M. F. S., MAGALHÃES, L. A., & TONIETTO, J. (2019). Mountain agriculture. *Embrapa Agrobiologia-Capítulo em livro científico (ALICE)*. In: VILELA, G., BENTES, M. D. M., de OLIVEIRA, Y. M. M., MARQUES, D., & SILVA, J. (2019). **Life on land: contributions of Embrapa**. *Área de Informação da Sede-Livro científico (ALICE)*.
- BARRIOS, E., COUTINHO H.L.C., MEDEIROS, C. A. B. **InPaC-S: Integração Participativa de Conhecimentos sobre Indicadores de Qualidade do Solo – Guia Metodológico**. World Agroforestry Centre (ICRAF), Embrapa, CIAT. Nairobi. 178. 2011.
- BIGARDI, L. R., LOBO, A. A. G., FURTADO, S. D. C., DOS SANTOS, A. F. M., BEVILACQUA, P. D., CARDOSO, I. M. 13963-Criação animal na agricultura familiar em transição agroecológica: experiências com a produção de silagens. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, 2013.
- BIGARDI, L.R., FURTADO, S. D. C., CORDEIRO, F. G., FERREIRA, E. L., ROMUALDO, P. L., BEVILACQUA, P. D. Abordagens participativas na agricultura familiar: construindo estratégias para o manejo agroecológico de pastagens. **Cadernos de Agroecologia**, v.9, 2014.
- BRUNES, L. C.; COUTO, V. R. M. Balanço de gases de efeito estufa em sistemas de produção de bovinos de corte. **Archivos de zootecnia**, v. 66, n. 254, p. 287-299, 2017.
- BÜNEMANN, E. K., BONGIORNO, G., BAI, Z., R. E. CREAMER, DE DEYN, G., DE GOEDE, R., FLESKENS, L., GEISSEN, V., KUYPER, T. W., MÄDER, P., PULLEMAN, M., SUKKEL, W., VAN GROENIGEN, J. W., BRUSSAARD, L. **Soil quality – A critical review**, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 120, 2018, p. 105-125.

CAPORAL, F. R., COSTABEBER, J. A. **Agroecologia: alguns conceitos e princípios**. Brasília: MDA/SAF/DATER-IICA, 204, 24p.

CARDOSO, A. S. **Avaliação das emissões de gases de efeito estufa em diferentes cenários de intensificação de uso das pastagens no Brasil Central**. Dissertação. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Seropédica, RJ. 84 pp. 2012.

CARDOSO, I. M.; FERRARI, E. A. Construindo o conhecimento agroecológico: trajetória de interação entre ONG, universidade e organizações de agricultores. **Revista Agriculturas** (Impresso), v. 3, p. 28-32, 2006.

CARDOSO, I. M., MUGGLER, C. C., FÁVERO, C., MENDONÇA, E. S, OLIVEIRA, T. S., LIMA, A. C. R., CASALINHO, H. D., FERNANDES, R. B. A. Ressignificar nossas percepções sobre o solo: Atitude essencial para manejar agroecossistemas sustentáveis. In: CARDOSO, I. M.; FÁVERO, C. Solos e agroecologia. (Coleção transição agroecológica). V. 4. Brasília, DF: Embrapa, 373 p. 2018. p. 33 – 59

DIAS-FILHO, M. B. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 190 p.

DUARTE, E. M. G. **Árvores em sistemas agroflorestais: ciclagem de nutrientes e formação da matéria orgânica do solo**. 2011. 135 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, MG.

FAO (2020) Food Agriculture Organization FAO Statistical Yearbooks—World food and agriculture. <http://faostat3.fao.org/home/E>.

FILIPPO, Denise. Pesquisa-ação em sistemas colaborativos. In: **Sistemas Colaborativos**, v. 1, Cap. 26. p. 449-466. 2011.

FRANCIS, C., LIEBLEIN, G., GLIESSMAN, S. R., BRELAND, T., CREAMER, N., HARWOOD, R. Agroecology: The ecology of food systems. **Journal of sustainable agriculture**, v. 22, n. 3, p. 99-118, 2003.

FREITAS, A.F., PASSOS, G.R., FURTADO, S.D.C., SOUZA, L.M., ASSIS, S.O., MEIER, M., SILVA, B.M., RIBEIRO, S., BEVILACQUA, P.D., MANCIO, A.B., SANTOS, P.R., CARDOSO, I.M. Produção animal integrada aos sistemas agroflorestais: necessidades e desafios. **Revista Agriculturas** (www.agriculturas.org.br) 6(30-35). 2009.

FREITAS, H. R. **Contribuição da etnopedologia no planejamento da ocupação e uso do solo em assentamentos rurais**. 2009. 174f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, MG.

FURTADO, S. D. C., BIGARDI, L. R., SANTOS, P. A., DOS SANTOS, A. F. M., BEVILACQUA, P. D., CARDOSO, I. M., “Animais para a Agroecologia”: potencializando a criação animal em propriedades familiares em transição agroecológica. **Cadernos de Agroecologia**. v.8, 2013

GILLEN, R. L.; KRUEGER, W. C.; MILLER, R. F. Cattle distribution on mountain rangeland in north-eastern Oregon. *J. Range Manage.*, 37: 549 – 553, 1984.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Ed. da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2001.

GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para reflorestamento**. Série Técnica, 3. CPFRC, Belo Horizonte, BR. 1975. 181p.

GOTELLI, N. J., ELLISON, A. M. 2011. *Princípios de estatística em ecologia*. Porto Alegre: Artmed Editora. 528p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3096/agro_2017_resultados_definitivos.pdf>

KARLEN, D. L., MAUSBACH, M. J., DORAN, J. W., CLINE, R. G., HARRIS, R. F., & SCHUMAN, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.

LAPIG - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (2020) Atlas Digital das Pastagens Brasileiras. Universidade Federal de Goiás. Disponível em: <<https://atlasdaspastagens.ufg.br/map>>. Acesso em: 14 de outubro de 2022.

LARANJEIRA, N. P. F., CARCELLE, S. J. A., DE MIRANDA, D., DE ABREU SÁ, T. D., TRENTO, L. G., DE SOUZA, T. S., CARDOSO, I. M. Para uma ecologia de saberes: trajetória da construção do conhecimento agroecológico na ABA. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 14, n. 2, p. 15-15, 2019.

LOBO, A. A. G., FURTADO, S. D. C., ROCHA, A. C. F., BIGARDI, L. R., BEVILACQUA, P. D., & CARDOSO, I. M. 14942-Composição de alimentos alternativos utilizados na alimentação de bovinos em cenários agroecológicos. *Cadernos de Agroecologia*, v. 8, n. 2, 2013.

LOPES, V. S., CARDOSO, I. M., DA SILVA LOPES, A. Percepção de agricultores (as) sobre práticas de conservação de solo e água implantados com apoio de órgãos públicos. *Revista ELO–Diálogos em Extensão*, v. 10, 2021.

KER, J.C. **Mineralogia, sorção e dessorção de fosfato, magnetização e elementos traços de Latossolos do Brasil**. 181 p. (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, (1995).

MACHADO, L.C.P. **Pastoreio Racional Voisin: tecnologia agroecológica para o terceiro milênio**. –2. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2010. 376p.

MURRAY-RUST, D., BROWN, C., VAN VLIET, J., ALAM, S. J., ROBINSON, D. T., VERBURG, P. H., & ROUNSEVELL, M. Combining agent functional types, capitals and services to model land use dynamics. *Environmental modelling & software*, v. 59, p. 187-201, 2014.

PARANHOS DA COSTA, M.J.R. E CROMBERG, V.U. (1997). Alguns aspectos a serem considerados para melhorar o bem-estar de animais em sistema de pastejo rotacionado. In: Peixoto, A.M., Moura, J.C. e Faria, V.C. **Fundamentos do Pastejo Rotacionado**, FEALQ: Piracicaba, p. 273-296.

PASSOS, G. R. **Animal integration in agroecologic properties in Araponga, Minas Gerais, Brazil**. 2008. 135 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Animais Domésticos; Nutrição e Alimentação Animal; Pastagens e Forragicultura) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

- PERFECTO, I., VANDERMEER, J., WRIGHT, A., 2009. **Nature's Matrix: Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty**. Cap. 2. p. 11-33. Earthscan, London
- PEZZOPANE, J. R. M., BOSI, C., NICODEMO, M. L. F., SANTOS, P. M., CRUZ, P. G. D., & PARMEJANI, R. S. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, v. 74, p. 110-119, 2015.
- PIRES, L. G., FURTADO, S. D., BEVILACQUA, P. D., SANTOS, P. A. D., FERREIRA, E. L. Criação de suínos da raça piau em propriedades familiares agroecológicas. In: **V Congresso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA (7 al 9 de octubre de 2015, La Plata)**. 2015.
- PLOEG, J. D. van der. O modo de produção camponês revisitado. In: SCHNEIDER, S. (Org.). **A diversidade da agricultura familiar**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2006. p.13-54.
- POORTER, L. The relationships of wood, gas and water fractions of tree stems to performance and life history variation in tropical trees. **Annals of Botany** 102(3): 367-375. 2008.
- ROMANO, P. A. Integração lavoura-pecuária-floresta: uma estratégia para a sustentabilidade. Informe Agropecuário: Integração Lavoura-Pecuária- Floresta, Belo horizonte, Epamig, v. 31, n. 257, p.7-15, jul/ago. 2010.
- SAMPAIO, N. M., SOUZA, A. R., PEREIRA, N. I. A., SANTOS, A. F. M., & BEVILACQUA, P. D. Expressões da avicultura familiar caipira em município da Zona da Mata de Minas Gerais. **Cadernos de Agroecologia**, v. 10, n. 3, 2016.
- SILVA, M. G. da; SANTOS, M. L. A prática educativa dos movimentos sociais na construção da agroecologia. **Educação em Perspectiva** (Online), v. 07, p. 263-282, 2016.
- SOUZA, H.N. **Sistematização da experiência participativa com sistemas agroflorestais: rumo à sustentabilidade da agricultura familiar na Zona da Mata mineira**, 2006. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa. 163 p.
- SOUZA, H. N.; CARDOSO, I. M.; FERNANDES, J. M.; GARCIA, F. C. P.; BONFIM, V. R.; SANTOS, A. C.; CARVALHO, A. F.; MENDONÇA, E. S. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. **Agroforestry Systems** (Print), v.80, p.1-16, 2010.
- SOUZA, H.N.; GOEDE, R.G.M. de; BRUSSAARD, L.; CARDOSO, I.M.; DUARTE, E.M.G.; FERNANDES, R.B.A.; GOMES, L.C.; PULLEMAN, M.M. Protective shade, tree diversity and soil properties in coffee agroforestry systems in the Atlantic Rainforest biome. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v.146, p.179-196. 2012.
- TEIXEIRA, H. M., CARDOSO, I. M., BIANCHI, F. J., DA CRUZ SILVA, A., JAMME, D., PEÑA-CLAROS, M. Linking vegetation and soil functions during secondary forest succession in the Atlantic forest. **Forest Ecology and Management**, v. 457, p. 117696, 2020.
- TEIXEIRA, G. M. **Serviços ambientais hidrológicos das áreas de preservação permanente em topo de morros**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, 2015. 49 f.
- TOSETTO, E. M.; CARDOSO, I. M.; FURTADO, S. D. C. A importância dos animais nas propriedades familiares rurais agroecológicas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 12-25, 2013.

TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 443-466, 2005.

VENTURA, M. V. A., BESSA, M. M., DA SILVA ALVES, L., DOS SANTOS CHAGAS, P. C., COSTA, E. M., ARANTES, B. H. T. Agroecologia e agricultura ecológica como pilar de sustentação da agricultura camponesa. **Multi-Science Journal**, v. 1, n. 12, p. 13-16, 2018.

VERDEJO, Miguel Expósito. Diagnóstico Rural Participativo: um guia prático – DRP. Brasília: MDA/ Secretaria de Agricultura Familiar, 2006.

WANG, T., TEAGUE, W. R., PARK, S. C., BEVERS, S. GHG mitigation potential of different grazing strategies in the United States Southern Great Plains. **Sustainability**, v. 7, n. 10, p. 13500-13521, 2015.

ZABEL, F.; PUTZENLECHNER, B.; MAUSER, W. Global agricultural land resources—a high resolution suitability evaluation and its perspectives until 2100 under climate change conditions. **PloS one**, v. 9, n. 9, p. e107522, 2014.

CAPÍTULO 2

PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE FORRAGEM EM PASTAGENS MANEJADAS SOB PASTOREIO ROTACIONADO AGROECOLÓGICO E PASTEJO CONTÍNUO

Resumo:

As pastagens são importantes fontes de alimento na criação de bovinos, mas comumente encontram-se mal conservadas ou degradadas. Muitos pesquisadores apontam a escolha da forrageira, a má formação inicial ou a ausência de reposição de nutrientes como as causas da degradação, enquanto outros atribuem como causa o sistema de manejo. Entretanto, práticas como o manejo rotacionado e a incorporação do componente arbóreo nas pastagens podem favorecer a recuperação e o aumento da produtividade das pastagens, a conservação do solo e o bem estar animal. Objetivou-se avaliar o desenvolvimento de forragem sob a influência do pastoreio rotacionado em pastagem agroecológica arborizada. Os objetivos específicos foram i) avaliar a estrutura do dossel forrageiro e o acúmulo de matéria fresca e seca de forragem nas pastagens; ii) quantificar os valores nutricionais das pastagens avaliadas; e iii) identificar a proporção de componentes morfológicos das plantas forrageiras em diferentes estações do ano. A pesquisa foi conduzida em uma propriedade da agricultura familiar, em Divino, Minas Gerais, onde o pastoreio rotacionado agroecológico (PRA), com a presença de árvores, foi implantado e avaliado em comparação com uma pastagem sob pastejo contínuo com taxa de lotação fixa a pleno sol (PC), no verão, outono e primavera. As coletas de amostras se realizaram nos meses de março, maio e outubro de 2022, pelo método direto, com quadros de orientação de 0,5x0,5m. Os parâmetros avaliados foram a altura do dossel forrageiro, a produção de matéria fresca e seca da forragem por área, os componentes nutricionais da pastagem (proteína bruta, fibra insolúvel em detergente neutro, fibra insolúvel em detergente ácido, lignina e material mineral) e os componentes morfológicos das plantas forrageiras (folha, colmo, material senescente, outras espécies e inflorescência). A altura do dossel, a produção de matéria seca e a proteína bruta total por hectare foram maiores no PRA, mas os teores de proteína bruta (% de matéria seca) foram superiores na pastagem sob PC. Do verão para a primavera, houve redução do acúmulo de matéria seca em ambos os sistemas, bem como redução na proporção de folhas em relação aos demais componentes morfológicos. O maior acúmulo de biomassa forrageira, com pouco tempo de implantação, indica que o PRA é uma técnica importante de recuperação e conservação das pastagens e deve ser incentivado.

Entretanto, há necessidade de se continuar avaliando e aprimorando este sistema de manejo. Ajustes nas taxas de lotação, bem como nos períodos de repouso e ocupação são necessários para melhorar a qualidade da forragem nesse sistema, além de aprofundar na compreensão da própria influência do componente arbóreo no sistema. O acesso a tecnologias que melhoram o manejo das pastagens, a exemplo do manejo rotacionado e dos sistemas silvipastoris, exigem recursos financeiros nem sempre acessíveis aos agricultores familiares e deve, por isto, ser incentivado com políticas públicas.

Palavras-Chave: Sistema Silvipastoril; Pastoreio Rotacionado; Pestejo Contínuo; Pesquisa contextualizada; Agricultura Familiar.

1. INTRODUÇÃO

As pastagens são a principal forma de uso e ocupação de terras no Brasil (Projeto MapBiomias, 2023) e são um componente estratégico na produção pecuária, pois são uma das principais e mais acessíveis fontes de alimento para o rebanho bovino, devido ao seu custo relativamente baixo quando comparado a outras culturas forrageiras para a criação de bovinos (Fonseca, 2010). No Brasil, a extensão territorial ocupada pelas pastagens atinge cerca de 154 milhões de hectares

Apesar da importância na produção bovina, o manejo adequado das pastagens nem sempre é praticado, seja por limitações econômicas ou ambientais e, como consequências, a degradação ambiental e a baixa produtividade das pastagens ocorrem (Macedo et al., 2013). As limitações econômicas ocorrem principalmente em função da natureza dos investimentos, normalmente altos e em curto prazo, enquanto os retornos são de médio a longo prazo (Dias-Filho, 2015), o que tende a desestimular ou até mesmo inviabilizar tais investimento por grande parte dos agricultores.

A limitação ambiental ocorre devido a localização das pastagens, normalmente em terras consideradas marginais em relação a outras culturas agrícolas, com terrenos mais declivosos, inviáveis à mecanização, com baixa concentração de nutrientes e ou áreas com má drenagem e pedregosidade (Queiroz et al., 2010). Essas limitações, associada aos superpastejos e aos monocultivos levam à degradação e tornam desafiadora a manutenção e ou recuperação da eficiência produtiva e conservação de solo e água em pastagens. Portanto, analisar formas de manejo que apresentam potencial de manutenção e ou recuperação de pastagens e que sejam ao mesmo tempo acessíveis aos agricultores pode contribuir para superar os desafios postos à produção de bovinos a pasto, dentre eles a degradação das pastagens.

Grande parte das pastagens no Brasil encontram-se degradadas. No estado de Minas Gerais cerca de 56% das pastagens apresentam algum estado de degradação, sendo que 24% são consideradas em estado de degradação severa (LAPIG, 2019). Na Zona da Mata de Minas Gerais, região onde a pesquisa foi realizada, o rebanho bovino é de cerca de 1,80 milhões de cabeças (IBGE, 2022), distribuídos em 2,07 milhões de hectares de pastagens. Destes, 42,5% das pastagens apresentam estado severo de degradação e apenas 5,6% não se encontram degradados (INAES, 2015). Recuperar estas pastagens degradadas é uma grande necessidade e um grande desafio.

Mesmo quando não degradadas, pastagens mal conservadas representam problemas sócio-econômicos, pois sua produtividade é comprometida. Na Zona da Mata Mineira, por exemplo, o rebanho bovino é estimado em cerca de 1,8 milhões de cabeças, e desse rebanho o número de vacas ordenhadas é de cerca de 322.500 cabeças, com uma produtividade média de 8,3 L/vaca/dia (IBGE, 2022). Uma parcela dessas vacas são animais de alta produção criadas em confinamento. Assim, considerando apenas o gado de leite criado predominantemente a pasto, a média de produção de leite deve ser ainda menor, mas que pode ser aumentada com manejo mais eficiente das pastagens.

A conservação e a recuperação das pastagens representam uma oportunidade estratégica para a promoção de benefícios diretos e indiretos para a bovinocultura e para a sociedade, o que exige o aprimoramento das práticas de manejo. Sistemas e estratégias de manejo integrados e racionais promovem o conforto animal e o bom desempenho dos mesmos; aumentam a produtividades dos animais; possibilitam a redução de emissões como no sequestro de gases de efeito estufa (Paulino & Teixeira, 2009; Assad et al., 2019); e conservam o solo, melhoram a infiltração de água e aumentam a biodiversidade, dentre outros benefícios.

O método ou sistema de pastoreio faz parte do sistema de manejo integrado das pastagens e significa a maneira como o ser humano conduz os herbívoros domésticos a pastejarem a forragem disponível. De forma simplificada, pode-se considerar dois tipos fundamentais de pastoreio tradicionalmente designados como pastoreio contínuo e pastoreio rotativo ou rotacionado (Nabinger, 2002).

O método extensivo, quando faz uso de lotação contínua associada a taxa de lotação fixa, não permite o controle sobre a estrutura e arquitetura do dossel, que ficam dependentes das condições climáticas. No entanto, em lotação contínua com controle da estrutura do dossel a partir da taxa de lotação variável, é possível obter excelentes resultados de desempenho animal individual e por área. A estrutura do dossel é definida pela frequência e a intensidade de desfolhação. O ajuste na taxa de lotação permite aumentar ou reduzir a frequência e intensidade de desfolhação, controlar a estrutura do dossel e assim regular produção com consumo de forragem. Épocas com maior produção de forragem requerem maior taxa de lotação e vice e versa. Em dossel com a mesma taxa de acúmulo de forragem o aumento da taxa de lotação irá aumentar a frequência e a intensidade de desfolhação.

O ajuste na taxa de lotação é, portanto, componente essencial para controlar o processo de desfolhação, uma vez que os animais se alimentam preferencialmente de folhas e plantas necessitam de folhas para realizar fotossíntese. A falta de ajuste compromete o consumo dos animais ou a taxa fotossintética e conseqüentemente o crescimento das plantas forrageiras. Tais ajustes podem ser mais ou menos refinados em função do regime de pastejo.

O regime de pastejo sob pastoreio rotacionado racional, assim como a inclusão do componente arbóreo nas pastagens, são componentes importantes do bom manejo (Torres et al., 2015). Estas são práticas consideradas agroecológicas porque promovem muitos benefícios, ou serviços ecossistêmicos, sem causar danos ambientais e com garantia de autonomia dos agricultores (Ploeg, 2008).

O pastoreio rotacionado racional é importante porque o consumo animal é influenciado pelo aumento na altura do pasto somente até certo ponto, a partir do qual haverá redução tanto do consumo como do desempenho (Sollenberger & Wallau, 2020). Portanto, a ocupação da pastagem deve ocorrer na faixa de altura considerada ideal para cada tipo de gramínea, que varia, por exemplo, de 20 a 40 cm para o capim marandu (*Urochloa brizantha*), e de 20 a 30 cm para *Brachiaria decumbens* (Santos et al., 2015). Os limites inferiores e superiores da altura ideal de ocupação, contudo, devem ser se orientar pelas características locais, do sistema de manejo do pastejo e da fertilidade do solo. O pastoreio rotacionado racional quando bem conduzido, além de permitir o consumo na altura correta do pasto, promove pastejos mais eficientes e uniformes, melhoram a distribuição e uniformidade de esterco e urina e permitem o consumo de forragens mais nutritivas pelos animais (Melado, 2003; Araújo, 2007).

O pastoreio rotacionado, contudo, demanda investimentos, principalmente com cercas para a divisão das pastagens, mas apresentam possibilidades de adaptação a diferentes escalas em termos de produtividade e área ocupada, assim como a diferentes regiões, desde que os princípios fundamentais dessa prática de manejo sejam atendidos. Dentre os princípios encontram-se o acesso adequado dos animais a água e a sombra, ajuste da carga animal em função da capacidade de suporte da pastagem e períodos de ocupação e repouso adequados à resposta das forragens estabelecidas (Silva, 2019). Assim como em outros sistemas de manejo, a fertilidade do solo e as condições climáticas também devem ser consideradas de acordo com as exigências da espécie forrageira a ser cultivada.

O pastoreio rotacionado pode ser empregado de diferentes formas, como os sistemas de lotação rotacionada convencional, pastoreio racional Voisin (PRV), pastoreio em faixas (Reis & Rodrigues, 1997) ou Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA). No pastoreio rotacionado, é importante que a entrada e saída dos animais nos piquetes seja definida de acordo com o ritmo de crescimento e recomposição do dossel forrageiro, com o período de repouso e ocupação variáveis de acordo com a altura recomendada da forragem, diferentemente dos métodos com período fixo de ocupação e repouso, onde é desconsiderada a resposta individual de cada piquete.

No PRA, preconiza-se a ausência de irrigação e de agrotóxicos, assim como o menor aporte possíveis de insumos como fertilizantes químicos de alta solubilidade. A calagem, quando necessária, deve ser realizada de forma racional, seja na formação, recuperação ou em pastagem já formada, quando deve ser feita preferencialmente com o pasto rebaixado em para melhor eficiência da aplicação. Nesse sistema, a inclusão de árvores nas pastagens é fundamental, devido aos inúmeros benefícios promovidos por elas.

Dentre os benefícios promovidos pelas árvores, encontram-se a maior ciclagem de nutrientes (Xavier et al., 2012), maiores produção e qualidade de biomassa forrageira (Castro et al., 2009; Radomski e Ribaski, 2012), produção de madeiras, diversificação dos alimentos para os animais (Porfírio da Silva, 2006) e a conservação de solo e água (Dias Filhos, Ferreira, 2007). As árvores propiciam ainda o bem estar, importante inclusive para a produtividade dos animais (Oliveira, 2003). O consumo animal é altamente afetado pelas altas temperaturas e insolação intensa, que reduzem o tempo de pastejo durante o dia (Pupo, 1995), o que prejudica o consumo voluntário de forragem. Ainda que possa reduzir a incidência de radiação solar, o efeito do sombreamento das árvores é capaz de reduzir o teor de matéria seca da forragem (Castro et al., 1999), tornando a mais tenra e teoricamente mais palatável, aspectos que favorecem o consumo voluntário pelos animais. Apesar dos inúmeros benefícios, a importância das árvores nas pastagens é negligenciada.

O manejo, implantação e condução de árvores na pastagem deve considerar as suas funções, seja para produção florestal (madeira, celulose, resinas etc.), alimentação animal, finalidades mistas (madeira e alimentação animal), conservação de solo e água, recuperação ou melhoria da fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes (Porfírio da Silva, 2006). A implantação de árvores nas pastagens pode ser realizada a partir de estratégias simples, como a bateção seletiva, onde as árvores de interesse são deixadas crescer. Outra estratégia simples é a

distribuição de galhadas pelas pastagens que criam ambiente propício para a visitação de pequenos animais e pouso de pássaros e a germinação das sementes. Esta prática foi indicada por agricultores familiares de descendência Puri no município de Araponga, Minas Gerais.

Para aprimorar as práticas da criação animal na perspectiva agroecológica, incluindo o manejo das pastagens, um grupo de famílias agricultoras do município de Divino-MG, em parceria com o Sindicato dos Trabalhadores Rurais, Centro de tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM) e pesquisadores da Universidade Federal de Viçosa desenvolveram ações coletivas e colaborativas de pesquisa e extensão. Dentre as ações, o pastoreio rotacionado com o manejo de árvores foram temas priorizados pelo grupo.

A pesquisa objetivou avaliar o desenvolvimento de forragem sob a influência do pastoreio rotacionado em pastagem agroecológica arborizada. Os objetivos específicos foram i) avaliar a estrutura do dossel forrageiro e o acúmulo de matéria fresca e seca das pastagens; ii) quantificar os valores nutricionais das pastagens avaliadas; e iii) identificar a proporção de componentes morfológicos das plantas forrageiras em diferentes estações do ano. A pesquisa foi conduzida em uma propriedade da agricultura familiar, em Divino, Minas Gerais, onde o pastejo rotacionado agroecológico, com a presença de árvores, foi implantado e avaliado em comparação com uma pastagem sob pastejo contínuo com taxa de lotação fixa a pleno sol, no verão, outono e primavera.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização das áreas de estudo

O município de Divino localiza-se na mesorregião da Zona da Mata de Minas Gerais e a propriedade da agricultura familiar onde a pesquisa foi realizada localiza-se na comunidade de Vargem Grande. Desde a sua concepção, o estudo foi conduzido sob a perspectiva da pesquisa participativa e priorizou-se os diálogos entre o conhecimento técnico e científico e o saber popular dos agricultores sobre as práticas de manejo e conhecimento dos agroecossistemas locais. Os agricultores participaram efetivamente na elaboração, planejamento e aplicação das propostas de intervenção.

A propriedade pesquisada possui cerca de 23,7 hectares e é conduzida pela família sob a perspectiva agroecológica. A família participa ativamente do movimento agroecológico na região a pelo menos 15 anos, não utiliza agrotóxicos, diversifica os cultivos na propriedade,

assim como as fontes de renda e economia indireta, já que muitos dos produtos gerados são tanto consumidos pela família como comercializados.

Dentre os principais produtos comercializados estão frutas e hortaliças diversas e produtos processados provenientes da agroindústria de quitandas na propriedade. Os principais meios de comercialização são as feiras livres, feiras agroecológicas e envio semanal de cestas de produtos para Belo Horizonte via cooperativa CooperDom.

A característica de diversificação produtiva dessa propriedade também está relacionada com a criação animal, especialmente a de bovinos, que além de ser uma fonte de renda, integra outros meios produtivos, tanto pelo fornecimento de esterco, demandado principalmente na olericultura, como pela geração de alimentos de origem animal tanto para consumo próprio da família como para a produção de quitandas, especialmente leite e ovos.

Duas áreas de pastagens, com características semelhantes, foram selecionadas para a pesquisa. Uma das áreas, com 0,95 hectare, possui árvores em uma densidade de 20 indivíduos por hectare e foi subdividida em sete piquetes, nos quais utilizou-se o sistema de manejo denominado Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA). Com o auxílio do agricultor, 15 espécies arbóreas foram identificadas na área, dentre elas embaúba (*Cecropia pachystachya*), mamica de porca (*Zanthoxylum rhoifolium*), eucalipto (*Eucalyptus spp.*), abacateiro (*Persea spp.*), papagaio (*Aegiphila sellowiana*), pau-colher (*Tabernaemontana spp.*), capoeira branca (*Solanum mauritianum Scop.*), seriguela (*Spondias purpúrea*), nêspera (*Eriobotrya japônica*), Garapa (*Apuleia leiocarpa*), Cinco folhas (*Sparattosperma leucanthum*) e outras que não puderam ser identificadas pelo científico, como jacarandá, jambo, café-do-mato e maria-preta.

A outra área, com três hectares, sem a presença de árvores e sem piquetes, foi mantida sob sistema de manejo denominado Pastejo Contínuo (PC), sob taxa de lotação fixa e sem subdivisões. As áreas amostradas das duas áreas de pastagens apresentam características bastantes similares (Tabela 1).

Tabela 1 – Características das áreas de pastagem onde pesquisa participativa com pastoreio rotacionado agroecológico (PRA) e pastejo contínuo (PC) foi realizada, em Divino, Minas Gerais.

	PRA	PC
Área total da pastagem (ha)	0,95	3,1
Área líquida de pastejo (ha)	0,74	3,1
Número de piquetes	7	-
Área média dos piquetes (m ²)	1053	-
Maior área piquete (m ²)	1984	-
Menor área piquete (m ²)	697	-
Presença de árvores na pastagem	Sim	não
	Convexa	Convexa
Pedoforma	1/3 inferior da encosta	1/3 inferior da encosta
Altitude mínima	803	820
Altitude máxima	838	852
Média de altitude	821	836
Declividade média (%)	17,94	21,44
Face de exposição	Sudoeste	Sudoeste

O mapa da propriedade com as representações das áreas avaliadas encontra-se na Figura 1. A forragem predominante observada nos sistemas é *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.



Figura 1. Propriedade (1A) onde a pesquisa participativa com Pastoreio Rotacionado Agroecológico foi realizada; piquetes delimitados (1B) ; e Pastejo Contínuo, área delimitada acima dos piquetes (1C), Divino, Minas Gerais.

2.2. Condução do experimento

Para a condução do experimento, o agricultor agrupou o rebanho em lotes. A pastagem PRA, com área líquida de pastejo de 0,74 ha (Tabela 1), foi submetida ao regime de pastoreio com duas unidades animais (UA), compostas por duas vacas em lactação com peso aproximado de 450 kg cada, perfazendo uma taxa de lotação fixa de aproximadamente 2,7 UA/hectare, com período de ocupação de dois a três dias por piquete. O período de repouso, apesar de variável

de acordo com a altura do dossel forrageiro, foi em média de 30 dias. Os piquetes foram utilizados de abril a agosto de 2021 e o pastejo foi vedado até o mês de novembro do mesmo ano, para recuperação da pastagem após o período seco, sendo novamente pastejados de novembro de 2021 a agosto de 2022.

A pastagem PC, com 3,1 ha, foi ocupada por um rebanho composto por quatro vacas secas de 430 kg em média, um garrote de aproximadamente 350 kg e seis bezerros/as de 190 kg em média, totalizando cerca de 3208 kg de peso vivo, o que perfaz uma taxa de lotação fixa de aproximadamente 2,3 UA/hectare. O agricultor atenciosamente seguiu o critério para retirar ou entrar com os animais no piquete, observando o ritmo de crescimento e recomposição do dossel forrageiro.

Para a aquisição da infraestrutura exigida para a implantação do sistema rotacionado, contou-se com o apoio do Projeto internacional de pesquisa Forefront, que aportou recursos para a realização das atividades e implantação dos sistemas de pastoreio. Em planejamento participativo com o grupo de agricultores, chegou-se ao acordo de que cada família receberia o montante de R\$2.000,00 para investimentos no manejo das pastagens, de acordo com os objetivos e condições de cada propriedade. O cercamento elétrico foi uma das prioridades do grupo, com a maior parte dos investimentos destinados para a aquisição de arame farpado e arame galvanizado para eletrificação, isoladores tipo castanha e W, hastes de aterramento, tubos isoladores e caixas d'água. Toda a pesquisa foi realizada em parceria com o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata mineira (CTA-ZM) e o Sindicato dos Trabalhadores na Agricultura Familiar (SINTRAF) de Divino, MG.

A instalação do sistema de pastoreio rotacionado foi realizada pelo pesquisador junto aos agricultores. Após 10 meses da implantação do sistema, considerado como período suficiente de adaptação ao manejo rotacionado, iniciaram-se as coletas para avaliação da produção e características nutricionais e morfológicas da forragem nos dois sistemas de manejo.

2.3.Amostragem, coleta e processamento de amostras

As pastagens foram amostradas no verão, estação chuvosa (17/03/2022); no outono, final da estação chuvosa (12/05/2022); e início da primavera, final da estação seca (04/10/2022). Em cada período, amostras simples da forragem foram coletadas pelo método direto em cada sistema de pastoreio. Utilizou-se para isto quadros de orientação de 0,25m² (0,5x0,5m; Figura 2). A forragem dentro deste quadro foi amostrada. Antes do corte da

forragem, em cada ponto foi medida a altura do dossel forrageiro utilizando régua graduada. Selecionou-se os pontos de coletas que permitissem amostras representativas da média da estrutura do dossel forrageiro e cobertura homogênea das áreas.

As amostras para determinação da massa de forragem foram cortadas a cerca de 5 cm de altura em relação ao solo. Em cada um dos sete piquetes do sistema PRA, três amostras (totalizando 21) foram coletadas em uma distância de aproximadamente 15 a 20 m entre os pontos amostrados. Em cada piquete PRA, as três amostras foram coletadas fora da projeção das copas das árvores e de forma a representar toda a área uniformemente. No sistema PC, uma área de aproximadamente um hectare, como em PRA, foi delimitada para a pesquisa, a partir do PRA. Nesta área, 21 amostras foram coletadas adotando-se o mesmo procedimento para a determinação dos pontos de coletas em PRA, sem, contudo, contar com a orientação visual proporcionada pela delimitação dos piquetes como em PRA. Como em PRA, manteve-se a distância de 15 e 20 metros entre os pontos amostrais.

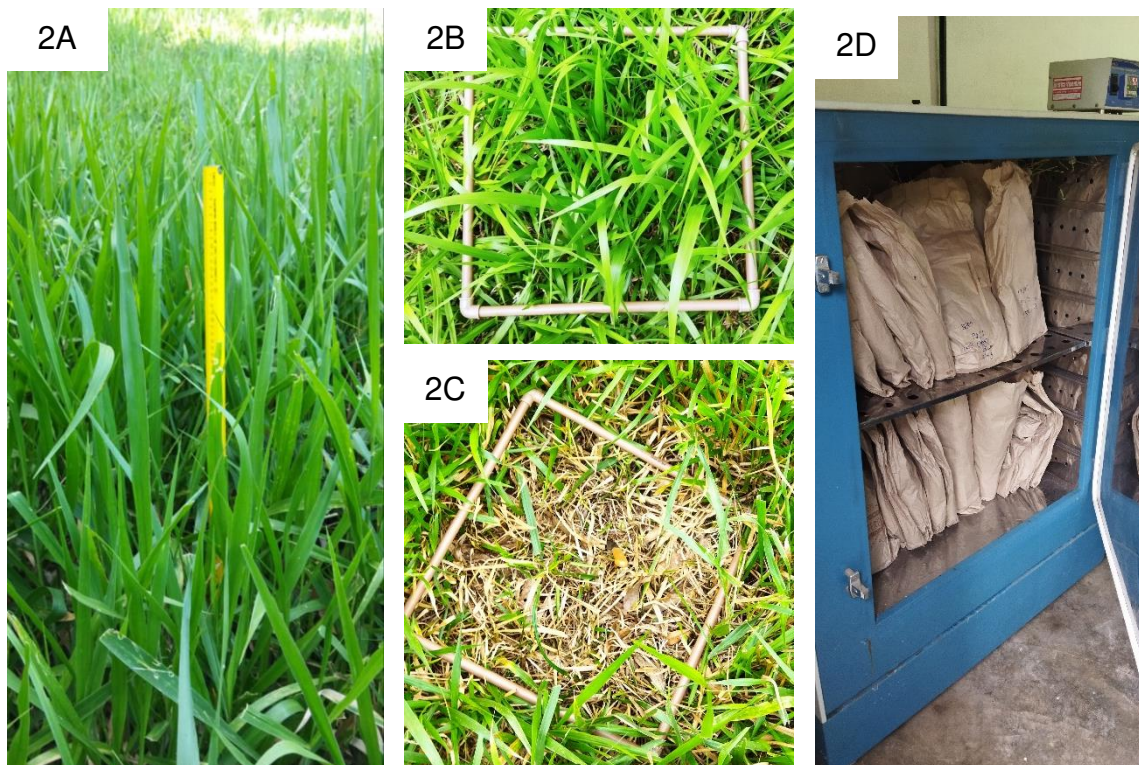


Figura 2. Medição da altura, coleta de amostra de massa de forragem e processamento de amostras. 2A: medição da altura do dossel forrageiro antes de cada coleta; 2B: quadro de orientação antes do corte da forragem; 2C: quadro de orientação após o corte da amostra; 2D: Secagem em estufa das amostras de forragem.

As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos de papel, identificadas e pesadas em campo. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa com ventilação forçada (65 °C/72 h) e pesadas para determinação da matéria seca. Para cada amostra, uma subamostra foi selecionada para separação morfológica da forragem. Após a pesagem e separação morfológica, as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey, com peneira de 2 mm, acondicionadas em saco plástico, identificadas e armazenadas para as análises de composição nutricional.

2.4. Análises de valor nutritivo da forragem

As análises de composição bromatológica da forragem foram realizadas a partir das amostras já secas em estufa e trituradas em moinho, com granulometria de até 2mm. Os teores de proteína bruta (%PB), proteína bruta total (PBT kg/ha), fibra em detergente neutro (%FDN), fibra em detergente ácido (%FDA), lignina (%LIG) e material mineral ou cinzas (%Cinzas) foram determinados com base na matéria seca (Detmann et al., 2012). A proteína bruta foi calculada com base na concentração de nitrogênio, obtida por digestão ácida e titulação (Kjeldahl, INCT-CA N-001/1). As análises de fibras (FDN e FDA) foram determinadas de acordo com o método de Van Soest (INCT-CA F-002/1 e INCT-CA F-004/1, respectivamente). O teor de lignina foi obtido pelo método da hidrólise ácida (INCT-CA F-005/1) e realizada a calcinação dos resíduos a 550°C/4, por 5h, para a sua determinação.

2.5. Separação de componentes morfológicos

A separação morfológica da forragem foi realizada com as amostras previamente secas em estufa, das quais retirou-se uma subamostra com massa de 20 g em média. Os componentes folhas, colmos, material senescente, inflorescências da forrageira principal (braquiária) e componentes agrupados de outras espécies presentes nas pastagens foram separados. Cada componente separado teve sua massa mensurada isoladamente para o cálculo do percentual dos componentes em relação a massa total determinada. Após a separação morfológica, as subamostras foram reintegradas às amostras originais para as análises de valor nutritivo da forragem.

2.6. Análise estatística

Para verificação dos pressupostos estatísticos para aplicação da ANOVA, os testes de Jarque-Bera foram realizados para normalidade de distribuição dos dados e o teste de Levene para verificação da homogeneidade de variâncias. Para os dados que não atenderam a tais pré-requisitos, as transformações logarítmicas, raiz quadrada ou cúbica foram realizadas. Para

avaliar os efeitos dos fatores empregados no experimento, comparações entre os sistemas (PRA e PC) e comparações entre as estações (verão, outono e primavera) foram realizadas em cada sistema de manejo. Para avaliar o efeito dos fatores de estudo, o teste de médias SNK (Student-Newman-Keuls) foi aplicado, a 5% de probabilidade de erro α .

As curvas de correlação e coeficiente de determinação foram identificadas na relação entre altura do dossel e acúmulo de matéria seca de forragem para cada sistema de manejo do pastoreio avaliado e para o conjunto total de dados de ambos os sistemas e estações do ano avaliadas. Relações entre a proporção entre folha e colmo, folha e material senescente e folha + colmo e material senescente foram realizadas e submetidas ao teste de médias SNK, a 5% de probabilidade de erro α .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altura do dossel (cm), acúmulo de matéria fresca (MF) e seca (MS) de forragem kg ha⁻¹, teor de matéria seca (%) valor nutritivo e características morfológicas do dossel forrageiro e relações entre altura, folha, colmo e material senescente encontram-se nos itens subsequentes.

3.1. Altura e acúmulo de matéria seca de forragem

A altura e matéria fresca e seca de forragem (MS), nos sistemas de manejo (PRA e PC) e períodos avaliados, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Altura e acúmulo de matéria fresca e seca da gramínea, em pastagens sob Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e Pastejo Contínuo (PC) em diferentes estações do ano de 2022, Divino, MG.

Manejo	Verão			outono			Primavera		
	Altura (cm)								
PRA	49,00	(2,43)	Aa	33,71	(2,11)	Ab	27,67	(1,59)	Ac
PC	10,86	(0,71)	Ba	11,81	(0,62)	Ba	7,71	(0,41)	Bb
Matéria fresca (kg. ha ⁻¹)									
PRA	17.192,38	(840,62)	Aa	13.965,71	(843,38)	Ab	5.969,52	(439,96)	Ac
PC	3.683,81	(279,40)	Ba	3.217,14	(230,47)	Bb	1.624,76	(97,14)	Bc
Matéria seca (kg. ha ⁻¹)									
PRA	6.209,87	(284,06)	Aa	5.235,29	(281,54)	Ab	3.715,24	(244,31)	Ac
PC	1.779,10	(104,96)	Ba	1.673,94	(96,84)	Bb	998,91	(58,51)	Bc

Valores de médias seguidos por diferentes letras maiúsculas nas colunas (manejo) e minúsculas nas linhas (estações) diferem entre si pelo teste de Student-Neuman Keuss (SNK) a 5% de probabilidade.

A altura do dossel forrageiro, acúmulo da matéria fresca (MF) e a matéria seca (MS) foram maiores ($p < 0,05$) em PRA e menores em PC em todas as estações avaliadas (Tabela 2). A altura do dossel forrageiro pode ser considerada como um dos principais fatores de interferência no regime de consumo alimentar pelos animais em pastejo. Pastagens com menores densidades de forragem, mas com alturas maiores permitem melhor aproveitamento dos bocados em relação a pastagens com maiores densidades de forragem e menores altura do dossel forrageiro (Demment e Laca, (1993). O maior acúmulo de forragem no sistema PRA possivelmente ocorreu porque no pastejo contínuo as folhas mais jovens, potenciais fontes de energia fotossintética, são preferencialmente consumidas pelos animais (Parsons, 1983), resultando em menor capacidade de rebrote e acúmulo de biomassa forrageira.

O período de repouso empregado em PRA, realizado de acordo com a percepção do agricultor, ainda que necessite de ajustes, otimizou o acúmulo de forragem e a eficiência do pastejo, assim como observado por Sarmento (2007), ao avaliar estratégias de pastejo rotacionado em pastagens compostas por *Urochloa brizantha* cv. Marandu.

Ao analisar o acúmulo de forragem ao longo das estações (verão, outono, primavera), observou-se decréscimo significativo ($p < 0,05$) na altura do dossel (cm) e acúmulo de matéria fresca e seca (kg ha⁻¹) em ambos os sistemas. Na primavera, observou-se menor acúmulo de

biomassa forrageira em ambos os sistemas de manejo e no outono observou-se valores intermediários de acúmulo de forragem. A redução da precipitação, do fotoperíodo e da temperatura na transição do verão, outono e inverno, como ocorrem na Zona da Mata, provocam diminuições significativas na atividade metabólica e desencadeiam alterações fisiológicas e provocam a diminuição da produção de biomassa das forrageiras tropicais (Rodrigues, 2008; Cardoso, 2001).

O maior consumo de reservas energéticas das plantas se dá durante o período de inverno (Pereira et al., 2011), que não se recuperou satisfatoriamente em ambos os sistemas avaliados e refletiu certamente no menor acúmulo de biomassa forrageira na primavera (Tabela 2). Apesar do menor acúmulo, na primavera a altura e matéria seca da forragem em PRA foi pelo menos 3,5 vezes maior do que em PC, indicando que mesmo nas estações mais adversas, o sistema PRA foi capaz de promover maior acúmulo de forragem.

Os coeficientes de correlação entre acúmulo de MS (kg ha^{-1}) e altura (cm) do dossel da forragem (Figura 3a e 3b), analisadas a partir do agrupamento de dados de todas as três estações, podem ser considerados moderados em PRA ($R^2 = 0,60$) e PC ($R^2 = 0,67$). Resultados semelhantes aos encontrados por Dufloth et al. (2015), que obteve um índice de correlação (R^2) de 0,57, utilizando o método da régua graduada.

Da série de dados do PRA, 38% das amostras coletadas encontravam acima dos 40 cm de altura, considerada ideal para a ocupação de pastagens de *Urochloa brizantha* (Carvalho et al., 2005). Dossel com alturas maiores correlacionam menos com o acúmulo de biomassa (matéria seca). Isto porque as camadas inferiores do dossel forrageiro possuem maior massa seca (Arruda, 2009). Com isto, o maior dossel em PRA (Tabela 2) levou ao menor coeficiente de correlação entre biomassa forrageira e altura (Figuras 3a e 3b).

Quando analisado o conjunto amostral total de ambos os sistemas, durante todo o período avaliado (126 amostras, Figura 3c), observou-se uma correlação maior ($R^2 = 0,88$) entre altura e acúmulo de matéria seca de forragem. Isto significa que um volume maior de amostras tende a diluir os efeitos da variação provocada por elevadas alturas do dossel e heterogeneidade da composição forrageira nas pastagens avaliadas. Talvez o volume de amostras explica a ampla variação de valores de R^2 que pode ser observada dependendo da composição e arquitetura da pastagem, com R^2 variando de 0,10 a 0,91 (Lopez Diaz e Gonzalez, 2003).

Alguns autores (Hansson, 2011; Carnevalli et al., 2006; Silva, 2004), contudo, afirmam que há forte correlação entre altura e acúmulo de biomassa de forragem. Com isto, estimativas de produção de matéria seca de forrageira podem ser feitas a partir da altura da pastagem, que pode ser determinada com régua graduada, uma ferramenta simples que possibilita realizar muitos pontos de leitura de forma ágil e prática e bastante acessível aos agricultores (Salman, 2006). Essa estratégia pode, portanto, ser utilizada na tomada de decisão de quando retirar ou levar os animais para o piquete, dado que a altura é um parâmetro mais efetivo e vantajoso em relação ao estabelecimento de períodos fixos de ocupação e repouso da pastagem.

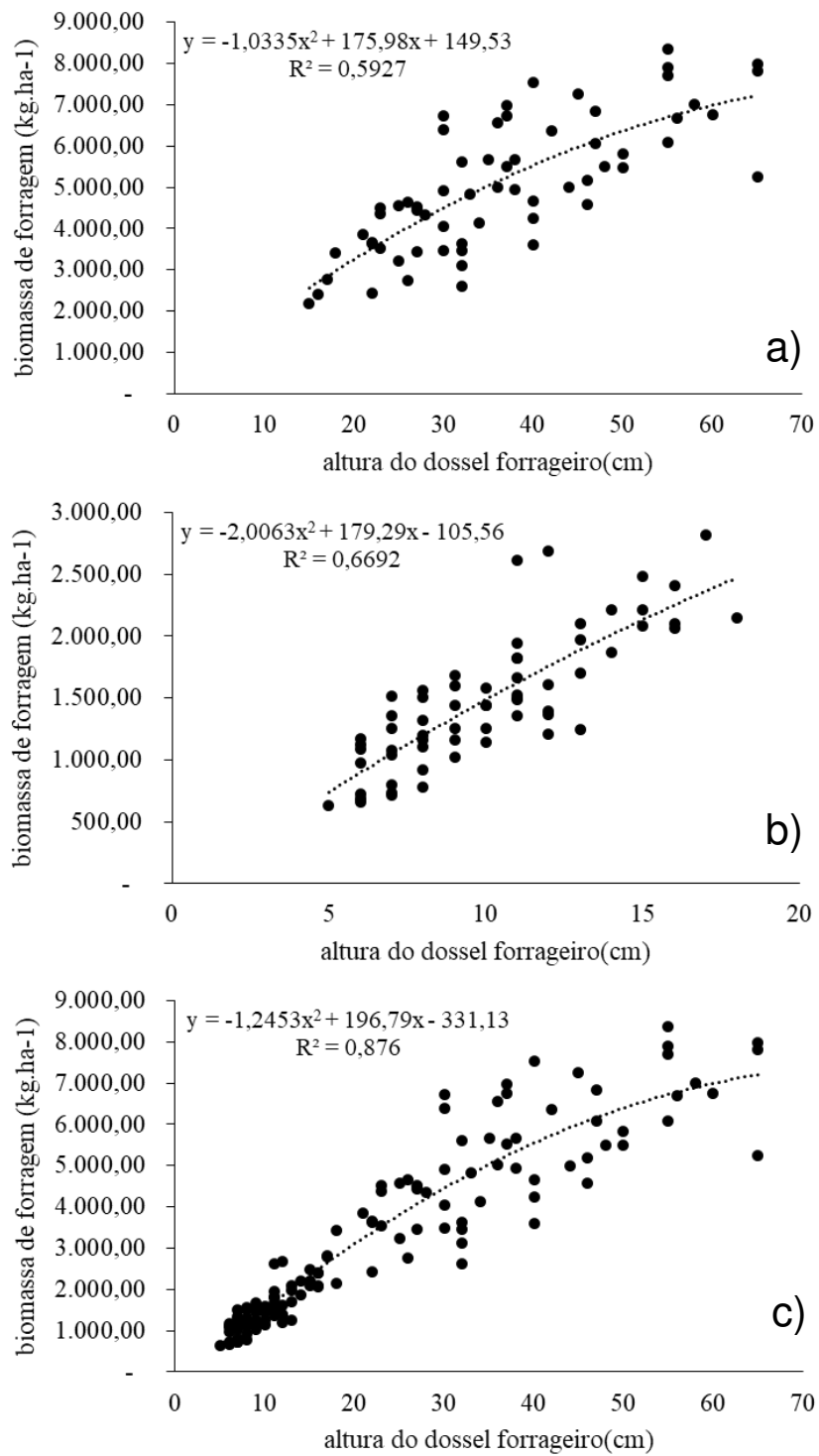


Figura 3. Correlação entre acúmulo de matéria seca (kg ha⁻¹) e altura do dossel forrageiro (cm) em pastagens sob a) Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA); b) Pestejo Contínuo (PC); c) PRA e PC; nas estações do verão, outono e primavera. Divino-MG.

3.2. Valor nutricional das pastagens

Os valores nutricionais da forragem sob Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e Pastejo Contínuo (PC) no verão, outono e primavera encontram-se na Tabela 3. Em todas as estações, os teores de PB foram maiores ($p < 0,05$) em PC e a produção de PB total e teores de FDN e de FDA foram maiores no sistema PRA ($p < 0,05$). Em relação ao PC, em PRA o teor de lignina foi menor ($p < 0,05$) no verão e maior ($p < 0,05$) no outono. Os teores de cinzas foram similares ($p > 0,05$) no verão e primavera em PC e PRA ou maior ($p < 0,05$) no outono em PRA.

Os teores de proteína bruta (PB) da forragem (Tabela 3) foram maiores em PC, provavelmente em função dos menores intervalos de consumo. Plantas submetidas a intervalos de corte mais longos tendem a apresentar menores teores de PB (Elgersma *et al.*, 2005), pois com o amadurecimento da planta eleva-se a proporção de material senescente, bem como o declínio do conteúdo celular, que reduz também os teores de proteína da planta (Gonçalves *et al.*, 2002). De qualquer forma, em ambos os sistemas os teores de proteína bruta obtidos (variando de 2,5 a 6,41 %) estiveram muito abaixo do mínimo recomendado para o bom funcionamento ruminal na faixa de 6 a 8% (Silva & Leão, 1979; Van Soest, 1994), assim como de valores de referência para o capim braquiária cv marandu, que na média anual normalmente atinge níveis em torno de 7.7 % (Valadares Filho & Lopes, 2018) e na estação chuvosa, entre 10,1 e 11,1 % (Nunes, 1985 e Euclides, 1995; Thiago *et al.*, 2000). O menor teor de proteína bruta em ambos os sistemas foi obtido no verão e outono (variando de 2,5 a 4,14 %). A proteína é um dos nutrientes mais exigidos por ruminantes, sendo importante para a microbiota do rúmen, além de favorecer a digestibilidade e o consumo de forragem (Valadares Filho & Valadares, 2001).

Os valores de proteína bruta abaixo dos valores de referência, nos dois sistemas de manejo, podem estar associados a diversos fatores, dentre eles a altura de corte ou a altura da forragem no momento da coleta a campo. A altura do corte foi a 5 cm do solo, abaixo da altura de pastejo efetivo dos animais, ao menos em PRA. O critério de corte a 5 cm foi adotado para se estabelecer um referencial comum e consistente, independente de quem realiza o procedimento, da planta forrageira ou do tratamento (Mannetje, 2000) e também para avaliar a massa total de forragem. Entretanto, com este procedimento provavelmente coletou-se mais material senescente e maior proporção de colmo, menos nutritivos e mais fibrosos em relação às folhas.

Ainda, no verão, com menor teor de proteína, a altura média da pastagem em PRA foi de 49 cm, superior à altura ideal de pré-pastejo para pastoreiro rotacionado (30 cm; Giacomini et al., 2009) e pastejo contínuo do capim marandu (40 cm; EMBRAPA, 2014). A avaliação também se deu pouco tempo após a implantação do PRA (variando de 10 meses a um ano e meio), tempo esse relativamente curto para identificar os impactos do manejo na PB.

Tabela 3. Valores nutricionais da forragem (N = 21, erro padrão) sob Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e Pastejo Contínuo (PC), em diferentes estações do ano, Divino, MG.

Manejo	Verão		outono		primavera	
			PB (%)			
PRA	2,50	(0,13) Bb	2,70	(0,10) Bab	4,07	(0,39) Ba
PC	4,14	(0,05) Ab	3,92	(0,11) Aab	6,41	(0,23) Aa
PB total (kg.ha⁻¹)						
PRA	151,70	(8,48) Aa	140,81	(9,46) Aa	149,69	(16,81) Aa
PC	73,36	(4,25) Ba	64,81	(3,54) Ba	64,31	(4,65) Ba
FDN (%MS)						
PRA	73,25	(0,48) Ab	74,45	(0,40) Ab	75,92	(0,48) Aa
PC	70,38	(0,44) Ba	69,60	(0,50) Ba	69,07	(0,76) Ba
FDA (%MS)						
PRA	38,67	(0,38) Ab	41,57	(0,47) Aa	42,11	(0,62) Aa
PC	36,06	(0,21) B	37,50	(0,48) B	37,95	(0,65) B
Lignina (%MS)						
PRA	7,68	(0,26) Bc	12,75	(0,31) Aa	10,16	(0,22) Ab
PC	8,84	(0,24) Ab	10,92	(0,41) Ba	10,14	(0,58) Aa
Cinzas (%MS)						
PRA	2,42	(0,15) Ac	3,72	(0,20) Aa	3,13	(0,20) Ab
PC	2,63	(0,19) Ab	2,88	(0,19) Bab	3,52	(0,30) Aa

PB = Proteína Bruta e total; FDN = Fibra insolúvel em detergente neutro; FDA = Fibra insolúvel em detergente ácido; MS = Matéria Seca. Valores de médias seguidos por diferentes letras maiúsculas entre linhas (manejo) e minúsculas entre colunas (estações) diferem entre si pelo teste de Student-Neuman Keuss (SNK) a 5% de probabilidade.

No sistema PRA, principalmente em função do maior acúmulo de biomassa, a produção de PB total por hectare foi aproximadamente 2,7 vezes maior em relação ao PC. Resultados semelhantes (Lenzi et al., 2009; Gysling, 2020; Silva et al., 2021) indicam uma tendência do manejo rotacionado em promover maior acúmulo de biomassa forrageira, o que o torna preferível como sistema de manejo de bovinos a pasto.

Os teores de FDN variaram de 69 a 76% e foram superiores no sistema PRA ($p < 0,05$) em todos os períodos de avaliação. A FDN é um dos componentes nutricionais mais limitantes ao consumo alimentar de ruminantes. Valores de FDN acima de 60% (como os encontrados em PRA e PC) apresentam correlação negativa com o consumo voluntário de forragem (Van Soest, 1994). Entretanto, este autor estudou pastagens de clima temperado. As forrageiras de clima tropical comumente apresentam valores de FDN superiores a 60% mesmo quando pastejadas no ponto de desenvolvimento recomendado, tanto no período das águas como da seca (Costa et al., 2005). Assim como as plantas forrageiras, as raças avaliadas nos estudos de Van Soest (1994) também são diferentes das raças com maior grau de mestiçagem normalmente criadas em regiões tropicais.

Assim como a FDN, os valores de FDA (Tabela 3) também foram superiores ($p < 0,05$) no sistema PRA (variando de 38 a 42%) em relação ao PC (variando de 36 e 38%). O teor de FDA nas forragens é importante, pois determina a capacidade de ingestão de volumosos por ruminantes. Teores de FDA em torno dos 30% ou abaixo favorecem e acima de 40% limitam o consumo da pastagem (Sarmiento, 2007). Os menores valores associados ao PC, com taxa de lotação fixa, são devido a manutenção de plantas muito jovens devido ao forte rebaixamento pelo pastejo e, conseqüentemente, com pouco tecido estrutural de sustentação (FDN e FDA).

PC apresentou baixíssima produção de forragem na primavera (abaixo de 2000 kg MS/ha; Tabela 2) o que, associada à ausência de período de descanso, impediu o acúmulo de compostos constituintes da parede celular (Tabela 3). É importante ressaltar que tanto o crescimento da planta forrageira quanto o desempenho animal são impactados pela falta destes compostos constituintes das plantas. Efeito semelhante foi observado por Costa et al. (2007), ao testar o impacto de diferentes intervalos de corte sobre *Urochloa brizantha* cv. MG-5.

A lignina, componente importante na composição das fibras, que representa a porção indigestível, foi superior em PC ($p < 0,05$) no verão, superior em PRA ($p < 0,05$) no outono, e não diferiu ($p < 0,05$) entre os sistemas na primavera. A maior concentração de lignina, tende a reduzir o consumo no pastejo e pode afetar a digestibilidade de outros componentes fibrosos como celulose e hemicelulose (Van Soest, 1994), pois proporciona maior saciedade no consumo animal sem, contudo, ser convertida em energia.

Apesar da variabilidade dos componentes nutricionais avaliados, a quantidade, a oferta e o consumo de matéria seca produzem mais efeitos sobre a produção animal do que variações

na composição química ou disponibilidade de nutrientes presentes na forragem (Noller et al., 1996). Nas condições observadas na pesquisa, embora os indicadores utilizados apontam condições melhores ou similares da pastagem em PC, a produção de matéria seca (kg ha^{-1}) nas estações avaliadas foi maior (de 3,6 a 4,6 vezes) no sistema PRA em relação ao sistema PC (Tabela 2).

Ao associar os resultados de PB com a MS, nota-se que a proteína bruta total (PB Total; Tabela 2) em PRA duplicou a PB obtida em pastejo contínuo em todos as estações analisadas. Isto pode ser atribuído ao adequado manejo das plantas forrageiras, com otimização do processo de fotossíntese a partir do acúmulo de área foliar causado pelo rebaixamento moderado da estrutura do dossel, via processo de pastejo controlado (Briske & Heitschmidt, 1991).

Do verão para a primavera, os teores de FDN, assim como de FDA, apresentaram aumento apenas em PRA. Em PRA, a FDN foi maior ($p < 0,05$) na primavera e a FDA foi maior ($p < 0,05$) no outono e primavera. Tais resultados se assemelham ao padrão observado por Pereira et al. (2011), que identificaram menores teores de FDN no verão e outono e maiores na primavera. Assim como observados por Costa et al. (2005), teores mais elevados de FDA (acima de 40%) foram encontrados na estação seca. A estação seca no presente estudo corresponde ao outono e a transição para a primavera. Em PRA, o valor de lignina foi maior no outono e em PC, no outono e primavera. Teores mais altos de FDA e de lignina indicam maior proporção de componentes fibrosos e menor digestibilidade da forragem e, conseqüentemente, menor assimilação de nutrientes provenientes do pastejo.

Os resultados relacionados aos teores de fibras (FDN, FDA e lignina, Tabela 3) indicam que no início da primavera, além de menor acúmulo de matéria seca (Tabela 2), há menor qualidade da forragem. Tal condição reforça a necessidade de cuidados com a suplementação volumosa e repouso das pastagens não só durante o inverno, mas também no início da primavera.

3.3. Distribuição dos componentes morfológicos da forragem

A Tabela 4 apresenta os resultados da proporção da composição morfológica das forragens em relação ao somatório dos componentes avaliados nos sistemas PRA e PC, nas diferentes estações. A proporção de folhas foi maior no sistema PRA ($p < 0,05$) nos períodos do verão e primavera e não diferiu ($p > 0,05$) entre os sistemas no outono. A estrutura de uma pastagem varia consideravelmente em relação ao manejo adotado. Pastagens mantidas com

baixo índice de área foliar (IAF) em pastoreio contínuo apresentam um grande número de pequenas hastes (Nabinger, 2002).

Tabela 4. Proporção da composição morfológica da forragem (% em relação ao somatório dos componentes) em pastagens (n = 21, erro padrão da média) sob Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e Pestejo Contínuo (PC), em diferentes estações do ano, Divino, MG.

manejo	verão			outono			Primavera		
	Folha								
PRA	46,30	(2,33)	Aa	30,95	(1,77)	Ab	21,24	(1,46)	Ac
PC	31,46	(2,14)	Ba	33,13	(2,23)	Aa	16,76	(1,49)	Bb
Colmo									
PRA	34,88	(1,94)	Aa	36,21	(1,89)	Aa	31,60	(2,43)	Aa
PC	21,57	(1,43)	Ba	17,87	(1,95)	Ba	11,91	(1,51)	Bb
material senescente									
PRA	15,02	(1,28)	Bc	29,00	(2,21)	Bb	44,17	(2,16)	Ba
PC	36,32	(3,16)	Ab	36,34	(2,31)	Ab	52,74	(3,09)	Aa
outras espécies									
PRA	2,33	(0,59)	Ba	2,01	(0,85)	Ba	2,94	(0,94)	Ba
PC	5,36	(1,25)	Ab	9,80	(1,38)	Aa	17,94	(3,02)	Aa
Inflorescência									
PRA	1,48	(0,43)	Ba	1,83	(0,33)	Ba	0,04	(0,03)	Bb
PC	5,28	(0,76)	A	2,87	(0,33)	A	0,64	(0,15)	A

Valores de médias seguidos por diferentes letras maiúsculas entre colunas (manejo) e minúsculas as linhas (estações) diferem entre si pelo teste de Student-Neuman Keuss (SNK) a 5% de probabilidade

A proporção de colmo foi maior no sistema PRA ($p < 0,05$) em todas as estações avaliadas (Tabela 4). A maior proporção de colmos é associada a competição por luz, pois o maior acúmulo de biomassa forrageira impede a entrada de luz entre as plantas e promove o alongamento desse componente (Zeferino, 2006). Apesar dos colmos serem importantes para a emissão de folhas, a proporção elevada desse componente pode apresentar efeitos negativos sobre o valor nutritivo e aproveitamento da forragem produzida (Santos, 2002). A menor intensidade e frequência de pastejo também pode elevar as proporções de colmo (Barbosa et al., 2007) que reduz o valor nutricional global da pastagem.

Em relação aos outros componentes morfológicos, a proporção de folhas é uma condição importante para satisfazer a necessidade nutricional dos animais (Gontijo Neto et al., 2006). Folhas e colmos são os componentes da planta responsáveis pela oferta de alimento e pela renovação da pastagem entre os eventos de pastejo, além de compor a estrutura do relvado, que afeta diretamente o comportamento de ingestão, assim como a intensidade do pastejo

seletivo (Gomide & Gomide, 2001). As maiores proporções de folhas e colmos indicam que o manejo rotacionado proveu melhores condições para a manutenção da estrutura do dossel forrageiro.

A proporção de material senescente foi maior no sistema PC ($p < 0,05$) em todas as estações avaliadas (Tabela 4). Entre verão e primavera (Tabela 4), houve um decréscimo da proporção de folhas no sistema PRA e aumento na proporção de material senescente. A proporção de colmos não se alterou muito (Tabela 4). A redução do fotoperíodo e das chuvas entre verão e inverno contribuem para esta alteração na proporcionalidade entre os componentes das plantas (Euclides et al., 2016) e afeta também a capacidade de acúmulo de biomassa forrageira (Tabela 2).

Entre as estações avaliadas, na primavera ocorre menos chuvas e os períodos de repouso são mais prolongados, o que pode ter promovido maior senescência das plantas. Assim como para a proporção de colmos, a menor intensidade e frequência de pastejo também pode ocasionar elevação nas proporções material senescente e diminuição da proporção de folhas (Barbosa et al., 2007). Como a proporção de folhas é uma condição importante para satisfazer a necessidade nutricional dos animais (Gontijo Neto et al., 2006), a menor proporção desse componente novamente reforça a necessidade de estratégias para a utilização de outras fontes de suplementação volumosa como capineiras e silagem na primavera.

Houve maior ocorrência de outras espécies em PC (Tabela 4). Nas observações de campo, a cobertura do solo foi visualmente maior no sistema PRA durante todo o período de avaliação. A menor cobertura do solo em PC, com maior área de solo exposto, criou ambiente propício para o desenvolvimento de outras espécies do extrato herbáceo na pastagem sob pastejo contínuo. Consequentemente, uma maior proporção de inflorescências foi observada também em PC (Tabela 4), dada a maior quantidade de espécies herbáceas nesse sistema.

Na Figura 4, encontra-se a relação folha colmo. Nas estações do outono e primavera esta relação foi menor em PRA ($p < 0,05$) em relação ao PC. Embora não significativo, a relação folha colmo foi 9,8% maior em PC no verão. A baixa proporção de colmo nas plantas forrageiras em PC e pode ter influenciado a menor capacidade de rebrote devido à baixa quantidade de perfilhos.

Em PC, devido ao baixo acúmulo de matéria seca de forragem (Tabela 2), houve baixa formação e alongamento de colmos, devido à falta de tempo de repouso suficiente para o

reestabelecimento da parte aérea das plantas, resultando em um dossel de baixa altura (cm), com constante emissão de folhas na tentativa de se estabelecer uma condição de balanço energético positivo via fotossíntese.

A contínua remoção de folhas pelo animal em pastejo tem um profundo efeito na capacidade fotossintética das folhas remanescentes. Em pastagens mantidas continuamente com baixo IAF em altas pressões de pastejo muitas folhas são removidas ainda jovens ou mesmo ainda na fase de expansão. Assim, uma proporção importante das folhas fotossinteticamente mais eficientes é removida e a fotossíntese do dossel diminui progressivamente com o aumento da intensidade de desfolhação (Parsons et al., 1983). Por esta razão, o alto potencial fotossintético das folhas e a adaptação morfológica das plantas mantidas em baixo IAF em pastejo contínuo não são suficientes para compensar a redução na área foliar, redundando em menor produtividade da pastagem quando o pastejo é intenso.

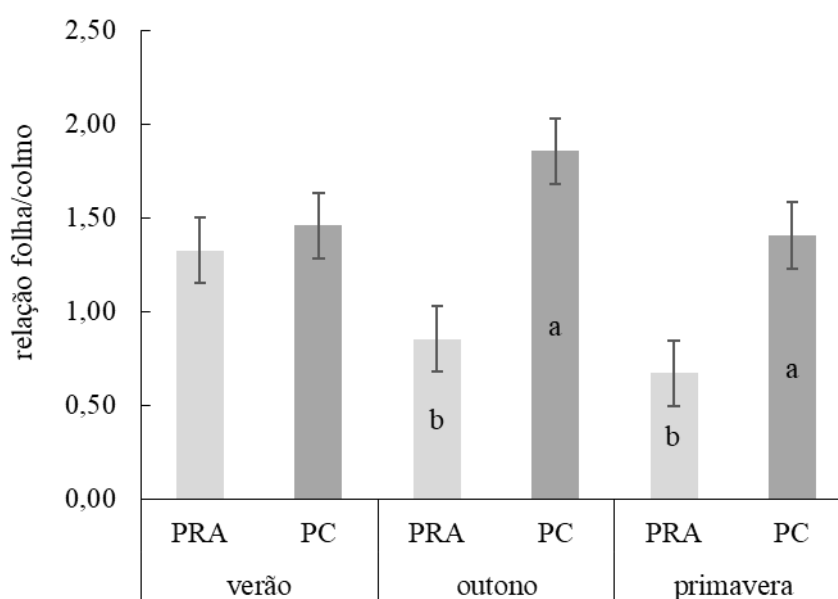


Figura 4. Relação folha/colmo em pastagens sob Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e Pastejo Contínuo (PC), em diferentes estações do ano, Divino, MG. Valores entre colunas seguidos por letras diferentes no mesmo período de avaliação diferem entre si pelo teste de Student-Neuman Keuss (SNK) a 5% de probabilidade

A relação folha material senescente (Figura 5), ao contrário de folha colmo, foi maior ($p < 0,05$) em PRA, exceto no outono, quando não diferiu do PC. Essa observação indica a

maior capacidade desse sistema em produzir os componentes “vivos” da biomassa forrageira (folha e colmo), realmente efetivos na recomposição do dossel forrageiro entre os eventos de pastejo.

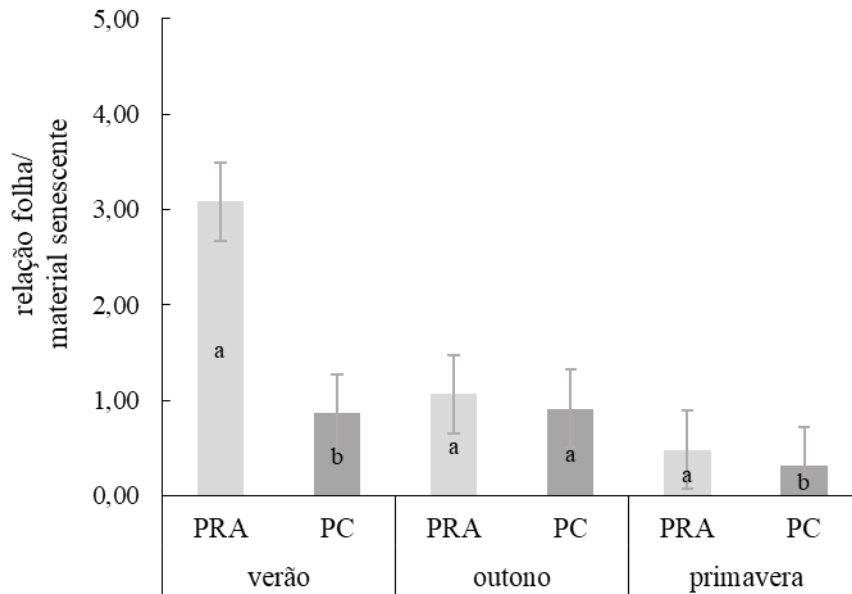


Figura 5. Relação folha material senescente em pastagens sob Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e Pastejo Contínuo (PC), em diferentes estações do ano, Divino, MG. Valores entre colunas seguidos por letras diferentes no mesmo período de avaliação diferem entre si pelo teste de Student-Neuman Keuss (SNK) a 5% de probabilidade

Em PRA, as relações folha+colmo material senescente (Figura 6) foram maiores ($p < 0,05$) do que em PC em todas as estações avaliadas. Do verão para a primavera, houve ainda redução gradativa da relação folha material senescente

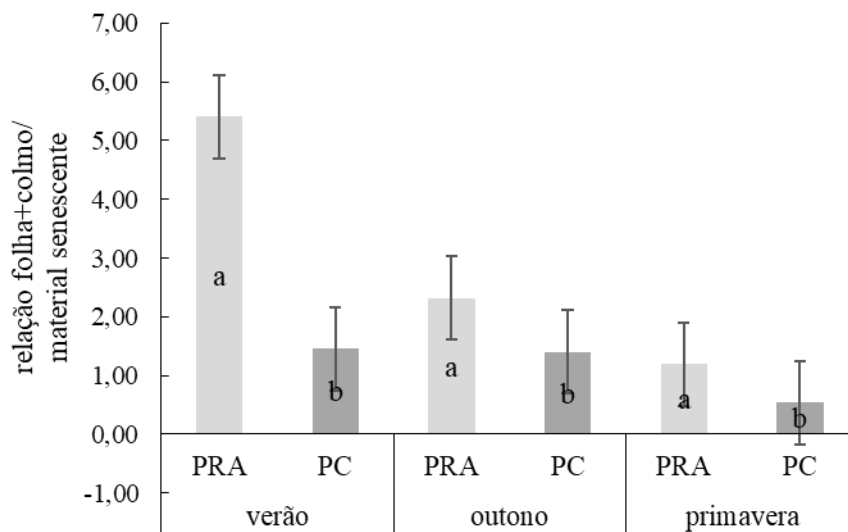


Figura 6. Relação folha+colmo material senescente em pastagens sob Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e Pastejo Contínuo (PC), em diferentes estações do ano, Divino, MG. Valores entre colunas seguidos por letras diferentes no mesmo período de avaliação diferem entre si pelo teste de Student-Neuman Keuss (SNK) a 5% de probabilidade

Do verão para a primavera, a diminuição da proporção de folhas (Tabela 4), a queda acentuada da relação folha material senescente (Figura 5) e de folha+colmo material senescente (Figura 6), principalmente em PRA, indicam o efeito dos padrões climáticos da região na produtividade das pastagens. O que indica, novamente, a necessidade de estratégias eficientes na compensação dessa queda de qualidade nutricional das pastagens a partir do inverno.

Mesmo em manejo rotacionado, na estação seca os animais não conseguem alcançar níveis de consumo adequados às suas necessidades nutricionais devido à menor proporção entre folhas e material senescente (Carvalho et al., 2005). Nessas condições, os animais necessitam maior tempo de pastejo e caminham mais para suprirem sua demanda de consumo em matéria seca, na tentativa de maximizar o consumo de lâminas foliares (Brâncio, 2000), aumentando o desvio de energia na busca por alimento, o que compromete o desempenho produtivo e aumenta a possibilidade de compactação do solo. A resistência mecânica do solo a penetração pode ser até três vezes superior no período das secas do que na época das chuvas (Magalhães et al., 2001) devido ao maior pisoteio provocado pelos animais na busca por alimento.

Os agricultores observam e sabem que o menor desenvolvimento das pastagens na estação seca exige suplementação alimentar, mas os dados mostram (Tabela 4) que a suplementação é importante pelo menos até o início da primavera. Mesmo que o sistema rotacionado tenha melhorado o acúmulo de matéria seca e proporção de folhas na pastagem, pelo menos por enquanto, as estratégias de reserva de alimentos volumosos para o período de seca precisam continuar. Entretanto, o tempo de avaliação pós implantação do PRA foi muito pequeno, deve-se monitorar estes sistemas e avaliar se ao longo do tempo a necessidade de suplementação permanecerá.

Esta avaliação também precisa ser feita considerando a influência do componente arbóreo na forragem, que nesta pesquisa não foi estudada. Sabe-se, entretanto, que as árvores contribuem em muito com a qualidade da pastagem. Em propriedades da agricultura familiar, a influência do componente arbóreo nas pastagens promoveu maior produtividade de matéria seca, maiores teores de PB, minerais e carboidratos não fibrosos, além de reduzir o teor de

matéria seca (Bigardi, 2016). Além de suas funções ecossistêmicas, o componente arbóreo favorece a qualidade das gramíneas tropicais pelo sombreamento natural, capaz de retardar o florescimento de diversas cultivares e manter o valor nutritivo das mesmas por mais tempo (Carvalho et al., 2002) e de reduzir o teor de fibras e elevar a digestibilidade de gramíneas (Paciullo et al., 2007).

4. CONCLUSÕES

Apesar do pouco tempo de implantação (cerca de 18 meses), o controle do pastejo proporcionado em PRA (Pastoreio Rotacional Agroecológico) melhorou o desenvolvimento da pastagem, indicador por maior altura do dossel forrageiro, aumento do acúmulo de matéria seca da forragem (MS) e diminuição da % matéria seca em relação a massa fresca da forragem.

Estes são indicadores importantes na nutrição de bovinos, pois a maior oferta de forragem permite a maior eficiência do pastejo, o menor consumo de energia na busca por alimento e menor pisoteio e, em consequência, menor degradação do solo. A maior quantidade de proteína bruta por hectare (PBT) em PRA também indica que, mesmo com pouco tempo de implantação, o pastoreio rotacionado foi melhor em relação ao pastejo contínuo. Entretanto, o PRA apresentou menores teores de proteína bruta e maiores teores de fibras (FDN e FDA). Esses parâmetros podem ser melhorados com o tempo e ajustes no manejo, alterando, por exemplo, os períodos de repouso e intervalos de ocupação dos piquetes.

Em PRA, houve maiores proporções de folhas e colmo, o que é importante tanto para o consumo animal como para a recuperação da pastagem entre os eventos de pastejo. Já as proporções de material senescente, outras espécies e inflorescências foram maiores no pastejo contínuo. O material senescente não contribui para melhorar a qualidade da forragem e a maior proporção de outras espécies e inflorescências é indicador de degradação da pastagem, pois certamente ocorreu devido a menor cobertura do solo observada em PC.

Do verão para a primavera, observou-se redução significativa dos parâmetros relacionados ao acúmulo de biomassa e da qualidade nutricional das plantas forrageiras, nos dois sistemas de manejo, mas em especial em PC. Isto indica, que pelo menos por enquanto, há necessidade de suplementação da alimentação animal nos períodos mais frios e secos, mesmo no PRA.

Os benefícios apresentados, com pouco tempo de implantação, indicam que o pastoreio rotacionado agroecológico é uma técnica importante de recuperação e conservação das pastagens. Entretanto, há necessidade de continuar avaliando e aprimorando este sistema de manejo. Ajustes no período de repouso e ocupação e nas taxas de lotação são necessários para melhorar a qualidade da forragem nesse sistema. Especialmente, a influência do componente arbóreo, extremamente importante para a recuperação e conservação das pastagens, e comumente presentes nas pastagens agroecológicas, deve ser avaliada em estudos futuros. A influência das árvores deve ser avaliada de forma combinada com a influência do pastejo rotacionado na produtividade das pastagens.

A implantação de sistemas de pastoreio rotacionado exigem investimentos nem sempre acessíveis aos agricultores e precisam, por isto, de subsídios que podem vir a partir de políticas públicas para garantam a sua implantação, em especial para a divisão das pastagens e implantação do componente arbóreo. Sem a divisão de pastagens e sem o componente arbóreo não é possível recuperar os inúmeros hectares de pastagens degradadas no Brasil.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, V. M. **Sistema de Pastejo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização “Lato Sensu” em Produção e Reprodução em Bovinos) – Universidade Castelo Branco, Brasília, 2007.

ARRUDA, D.S.R. **Comparação de métodos para avaliação da massa de forragem em pastos de capim-estrela submetidos a intensidades de Pastejo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Zootecnia, Área de Concentração Pastagens e Forragicultura) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2009.

ASSAD, E. D., MARTINS, S. C., CORDEIRO, L. A. M., & EVANGELISTA, B. A. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília: Embrapa**, p. 153-167, 2019.

BARBOSA, R. A. Manejo de desfolhação e seus efeitos nas características morfofisiológicas, dinâmica de perfilhamento e valor nutritivo do capim Tanzânia. Viçosa, UFV. 100p. Tese (Doutorado em Zootecnia - Zootecnia). 2002.

BARBOSA, R.A.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; EUCLIDES, V.P.B.; SILVA, S.C. da; ZIMMER, A.H.; TORRES JÚNIOR, R.A.A. Capimtanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.329340, 2007.

BARCELLOS, A.O.; RAMOS, A.K.B.; VILELA, L.; MARTHA JUNIOR, 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, n.spe, p. 51-67 2008.

BIGARDI, L. **Árvores na pastagem melhoram a qualidade do solo e de forragens.** Dissertação de mestrado em Agroecologia - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - Minas Gerais. 2016.

BRÂNCIO, P.A. **Comportamento animal e estimativas de consumo por bovinos em pastejo** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 268p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2000.

BRISKE, D.D., HEITSCHMIDT, R.K. An ecological perspective. In: HEITSCHMIDT, R.K.; STUTH, J.W. (Eds.) **Grazing management: an ecological perspective.** Portland, Timber Press. p.11-26. 1991.

CARDOSO, G. C. Alguns fatores práticos da irrigação de pastagens. In: Anais do 2º Simpósio de Produção de Gado de Corte; 2001, Viçosa. Viçosa: UFV; 2001. p.243-60.

CARNEVALLI, R. A., DA SILVA, S. C., BUENO, A. D. 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, N. 3, P. 165, 2006.

CARVALHO, F. A. N.; BARBOSA, F. A.; McDOWELL. **Nutrição de bovinos a pasto.** 2. ed. Belo Horizonte: PapelForm, 2005. 438 p.

CARVALHO, P.C.F.; GENRO, T.C.M.; GONÇALVES, E.N. et al. Estrutura do pasto como conceito de manejo: reflexos sobre consumo e a produtividade. In: SIMPÓSIO SOBRE VOLUMOSOS NA PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 2., 2005, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 2005. p.107-124.

CARVALHO, M. M.; FREITAS, V. P.; XAVIER, D. F. Início de florescimento, produção e valor nutritivo de gramíneas forrageiras tropicais sob condição de sombreamento natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.717-722, 2002.

CASTRO, C. R. T. D., GARCIA, R., CARVALHO, M. M., & COUTO, L. Produção forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. **Revista brasileira de Zootecnia**, v. 28, p. 919-927, 1999.

CASTRO, C. R. T., PACIULLO, D. S. C., GOMIDE, C. A. M., MÜLLER, M. D., JÚNIOR, É. R. N. Características agronômicas, massa de forragem e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 19-19, 2009.

COSTA, K. A. P., OLIVEIRA, I. P., FAQUIN, V., NEVES, B. P., RODRIGUES, C., SAMPAIO, F. M. T. Intervalo de corte na produção de massa seca e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. MG-5. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n.4, p. 1197-1202. 2007.

COSTA, K. A. P., ROSA, B., OLIVEIRA, I. P., CUSTÓDIO, D. P., SILVA, D. C. Efeito da estacionalidade na produção de matéria seca e composição bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Ciência Animal Brasileira/Brazilian Animal Science**, v. 6, n. 3, p. 187-193, 2005.

DERNMENT, M. W., LACA. E. A. The grazing ruminant: Models and experimental techniques to relate sward structure and intake. In: World Conference ON Animal Production, 7. 1993. Edmonton. **Proceedings ...** p.439-460.

DIAS FILHO, M. B.; FERREIRA, J. N. Barreiras à adoção de sistemas silvipastoris no Brasil. In: FERNANDES, E. N.; PACUILLO, D. S.; CASTRO, C. R. T. de; MULLER, M. D.; ARCURI, P. B.; CARNEIRO, J. da C. (Org.). **Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2007. p. 327-340.

DIAS-FILHO, M.B. Estratégias para recuperação de pastagens degradadas na Amazônia brasileira. Belém, Embrapa Amazônia Oriental. 25p. 2015.

DUFLOTH, J. H.; BACK, A. J.; DOS PASSOS, R. Estimativa da produção de pasto através de dois métodos indiretos: Régua (altura) e Disco Medidor (densidade). **Agropecuária Catarinense**, v. 28, n. 1, p. 83-86, 2015.

ELGERSMA, A. et al. Effects of Nitrogen fertilisation and regrowth period on fatty acid concentrations in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). **Annals of Applied Biology**, v. 147, n. 2, p. 145–152, 2005.

EMBRAPA. **Soluções tecnológicas: Manejo do pastejo dos capins Marandu, BRS Piatã e Xaraés** (cvs de *Brachiaria brizantha*) sob lotação contínua. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2014.

EUCLIDES, V. P. B. Valor alimentício de espécies forrageiras do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 12., 1995, Piracicaba. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1995. p. 245-273.

EUCLIDES, V. P. B.; MONTAGNER, D. B.; BARBOSA, R. A.; VALLE, C. B.; NANTES, N. N. Animal performance and sward characteristics of two cultivars of *Brachiaria brizantha* (BRS paiaguás and BRS Piatã). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.45, p.85-92, 2016.

FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J.A. **Plantas forrageiras**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2010. 537p.

FORBES, T. D. A. Researching the plant-animal interface: the investigation of behavior of grazing animal. *Journal of Animal Science*, v. 66, n. 9, p. 2369-2379, 1988.

GIACOMINI, A. A.; SILVA, S. C.; SARMENTO, D. O. L.; ZEFERINO, C. V.; SOUZA JR, S. J.; TRINDADE, J. K.; GUARDA, V. A.; NASCIMENTO JR, D. Growth of marandu palisadegrass subjected to strategies of intermittent stocking. **Scientia Agricola**, v.66, p.733-741, 2009.

GOMIDE, J.A.; GOMIDE, C.A.M. Utilização e manejo de pastagens. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2001. p.808-825.

GONÇALVES, G. D.; SANTOS, G. T.; CECATO, U.; JOBIM, C. C.; DAMASCENO, J. C.; FARIA, K. P. Produção e valor nutritivo de gramíneas do gênero *Cynodon* em diferentes idades ao corte durante o ano. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 14, n. 2, p. 1163-1174, 2002.

GONTIJO NETO, M.M.; EUCLIDES, V.P.B.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; MIRANDA, L.F.; FONSECA, D.M.; OLIVEIRA, M.P. Consumo e tempo de pastejo por novilhos Nelore em pastagem de capim Tanzânia sob diferentes ofertas de forragem. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.6066, 2006.

GYSLING RIU, Juan J. **Patagonia Agredida: Itinerario de la Desertificación**. Punta Arenas: 2020. 247p.

HANSSON, L. **Herbage Dry Matter Mass of Pastures Estimated Through Measures of Sward Height**. 2011. 78p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) - University of Copenhagen, Copenhagen, 2011.

IBGE, 2022. IBGE. Sidra: Banco de Tabelas Estatísticas. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html> Acesso em: novembro de 2023.

INAES, I. A. E. DE S. **Estado da Arte das Pastagens em Minas Gerais**. 1. ed. Belo Horizonte: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2015.

LENZI, A., MACHADO, L. C. P., DE QUADROS, F. L. F., MACHADO FILHO, L. C. P., BARBERO, L. M., ROMA, C. C. Desempenho animal e produção de forragem sob pastejo contínuo ou pastoreio racional Voisin. **Revista Brasileira De Agroecologia**, v. 4, n. 3, p. 29-35, 2009.

LOPEZ DIAZ, J. E.; GONZALEZ, R. Measuring grass yield by non-destructive methods. In: SYMPOSIUM OF THE EUROPEAN GRASSLAND FEDERATION, 12., 2003. Optimal forage systems for animal production and the environment. Proceedings... Pleven, Bulgar-ia, 2003. **Grassland Science in Europe**, n.8, p.569-572, 2003.

MACEDO, M. C. M., ZIMMER, A. H., KICHEL, A. N., ALMEIDA, R. D., ARAUJO, A. D. Degradação de pastagens, alternativas de recuperação e renovação, e formas de mitigação. **Encontro de Adubação de Pastagens da Scot Consultoria. Ribeirão Preto: Scot Consultoria**, v. 1, p. 158-181, 2013.

MAGALHÃES, R. T.; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, I. P. de. Evolução das propriedades físicas de solos submetidos ao manejo do sistema barreirão. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.31, p.7-13, 2001.

MANNETJE'T L. Measuring biomass of grassland. In: MANNETJE'T L.; JONES, R. M. (ED) **Field and laboratory methods for grassland and animal production research**. Wallingford: CAB International, 2000. cap. 7, p. 151-177.

MELADO, J. Pastoreio Racional Voisin: Fundamentos, Aplicações e Projetos. Coord. Ed. Vieira, E. A. **Aprenda Fácil Editora**, Viçosa, MG, 2003.

NABINGER, C. 2002 Sistemas de pastoreio e alternativas de manejo de pastagens. In: CICLO DE PALESTRAS EM PRODUÇÃO E MANEJO DE BOVINOS. Ênfase: Manejo reprodutivo e sistemas de produção em bovinos de corte. 7, 2002, Canoas. Anais... Canoas: Ulbra, 2000. p.7-60.

NOLLER, C. H.; NASCIMENTO JR, D.; QUEIROZ, D. S. Exigências nutricionais de animais em pastejo. In. SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 13 1996, Piracicaba, Anais... Piracicaba: FEALQ, 1996. P. 319-352.

NUNES, S. G.; BOOCK, A.; PENTEADO, M. I. O.; GOMES, D. T. *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. Campo Grande: EMBRAPA / CNPGC, 1985. 31 p. (Documento, 21).

OLIVEIRA, T. K. de; FURTADO, S. C.; ANDRADE, C. M. S.; FRANKE, L. L. **Sugestões para implementação de sistemas silvipastoris**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003, 28 p. (Documentos, 84).

PACIULLO, D.S.C.; CARVALHO, C.A.B. de; AROEIRA, L.J.M.; MORENZ, M.J.F.; LOPES, F.C.F; ROSSIELLO, R.O.P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob

sombreamento natural e a sol pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.573-579, 2007.

PARDO, R. M. P.; FISCHER, V.; BALBINOTTI, M. et al. Comportamento ingestivo diurno de novilhos em pastejo submetidos a níveis crescentes de suplementação energética. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 32, n. 6, p. 1408-1418, 2003.

PARSONS, A. J., LEAFE, E. L., COLLETT, B., PENNING, P. D., LEWIS, J. The physiology of grass production under grazing. 1. Characteristics of leaf and canopy photosynthesis of continuously grazed swards. **Journal of Applied Ecology**, v. 20, n. 1, p. 117-126, 1983

PAULINO, M.F.; MORAES, E.H.B.K.; ZERVOUDAKIS, J.T. et al., Suplementação de novilhos mestiços recriados em pastagens de *Brachiaria decumbens* durante o período das águas: desempenho. *Anais..In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira De Zootecnia*, 39, Recife. 2002.

PAULINO, V. T.; TEIXEIRA, E. M. L. Sustentabilidade de pastagens–manejo adequado como medida redutora da emissão de gases de efeito estufa. **CPG-produção animal sustentável, ecologia de pastagens, iz, apta/saa**, v. 16, 2009.

PEREIRA, R. C., RIBEIRO, K. G., PEREIRA, O. G., VILLELA, S. D. J., SILVA, J. L. Produtividade, composição químico-bromatológica e extração de minerais das cultivares Marandu e Xaraés nas estações do ano. **Veterinária e Zootecnia**, v. 18, n. 4, p. 570-582, 2011.

PLOEG, J. D. V. D. **Camponeses e impérios alimentares: luta por autonomia e sustentabilidade na era da globalização**. Porto Alegre (RS): Editora da UFRGS, 2008.

PORFIRIO DA SILVA V. **Arborização de pastagens: procedimentos para introdução de árvores em pastagens convencionais**. Colombo: Embrapa Florestas; 2006. Comunicado Técnico, 155.

PROJETO MapBiomias – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em outubro de 2023 através do link: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/12/Fact_Sheet_Colecao_6_Agosto_2021_27082021_OK_ALTA.pdf

PUPO, N. I. H. **Manual de pastagens e forrageiras: formação, conservação e utilização**. Campinas: Instituto de Ensino Agrícola, 1995. p. 36-38.

QUEIROZ, D. S., GUIMARAES, A. S., SILVA, E. A., RUAS, J. R. M. Utilização de pastagens, volumosos e concentrados na produção de leite da agricultura familiar. **Informe Agropecuário** (Belo Horizonte), v.31, p.15-25, 2010.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta*. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 32, n. 69, p. 53-53, 2012.

REIS, R. A., RODRIGUES, L.R.A. Fundamentos do Pastejo Rotacionado. In: A. M. Peixoto; J. C. de Moura & V. P. de Faria. Eds. *Anais do 14º Simpósio sobre Manejo da Pastagem*. FEALQ, Piracicaba, SP, 1997.

REIS, R. A.; MELO G.M.P.; BERTIPAGLIA L.M.A.; OLIVEIRA, A. P. Otimização da utilização da forragem disponível através da suplementação estratégica. In: REIS R.A.; SIQUEIRA, G.R.; BERTIPAGLIA, L.M.A. et al. (Eds.). **Volumosos na produção de ruminantes** Jaboticabal: Funep, 2005. p.187-238.

RODRIGUES, C.S. **Caracterização morfogênica de gramíneas forrageiras tropicais sob crescimento livre**. 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SALMAN, A. K. D.; SOARES, J. P. G.; CANESIN, R. C. Métodos de amostragem para avaliação quantitativa de pastagens. **Embrapa Rondônia. Circular Técnica**, Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2006.

SANTOS, P. M. Controle do desenvolvimento das hastes no capim Tanzânia: um desafio. 2002. 98p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) - **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SANTOS, M. E. R., DA FONSECA, D. M., EUCLIDES, V. P. B., JÚNIOR, J. I. R., BALBINO, E. M., CASAGRANDE, D. R. Valor nutritivo da forragem e de seus componentes morfológicos em pastagens de *Brachiaria decumbens* diferida. **Boletim de Indústria Animal**, v. 65, n. 4, p. 303-311, 2008.

SANTOS, M.E.R.; CARVALHO, B.H.R.; COSTA, L.K.P. Altura do pasto como critério de manejo do pastejo: aspectos práticos. In: MARTUSCELLO, J.A.; CARVALHO, A.L.S.; ALMEIDA, O.G.; LADEIRA, M.V.; CUNHA, D.N.F.V. (Org.). **Anais do II SIMPASTO - Atualizações em manejo e produção de pastagem**. 1ed.São João del-Rei: UFSJ, 2015, v. 1, p. 59-87.

SARMENTO, D. O. L. **Produção, composição morfológica e valor nutritivo da forragem em pastos de *Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. Rich) Stapf. cv Marandu submetidos a estratégias de pastejo rotativo por bovinos de corte**. 2007. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SBRISSIA, A. F.; SILVA, S. C. O ecossistema de pastagens e a produção animal In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001, Piracicaba. Anais... Piracicaba: SBZ, p.731-754, 2001.

SEAPA-MG. SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DE MINAS GERAIS. Perfil do Agronegócio Mineiro – Pecuária, fevereiro/2014. Disponível em: <
http://www.agricultura.mg.gov.br/images/files/perfil/perfil_minas_pecuaria_2014.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2014.

SILVA, J.C., LEÃO, M.I. **Fundamentos de Nutrição dos Ruminantes**. Piracicaba, livroceres. p. 190-236. 1979.

SILVA, S.C. Fundamentos para o manejo do pastejo de plantas forrageiras dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM, 2., 2004, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Minas Gerais, 2004. p.346-381.

SILVA, H. G. **Sistema de Pastoreio Racional Voisin: Revisão. 2019**. Monografia (Graduação e Bacharelado em Zootecnia) – Instituto Federal Goiano, Campus Ceres, 29p. 2019.

SILVA, F. R.; BORJA, M.; PLAZA, L. C.; MARINI, P. R. Voisin Rational Grazing: An Agroecological Alternative to Achieve Sustainable Livestock in Ecuador. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE PRODUCCIÓN PECUARIA Y AGROINDUSTRIAL ESPOCH, 2.,

2021, Chimborazo. **Anais eletrônicos...** Chimborazo: ESPOCH, 2021. ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M., v.2, n.1, p. 104-11, 2021.

SOLLENBERGER, L.E.; WALLAU, M.O. Plant-herbivore interactions. In: MOORE, K.J.; COLLINS, M.; NELSON, C.J.; REDFEARN, D.D.) **Forrages: The science of grassland agriculture**. v.2, West Sussex: Wiley Blackwell, 2020. p.201-2014.

THIAGO, L. R. L. S.; VALLE, L. C. S.; SILVA, J. M.; MACEDO, M. C. M.; JANK, L. Uso intensivo de pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Pennisetum purpureum* cv. Cameroon, e *Panicum maxicum* cv. Mombaça visando à produção de carne. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. Anais... Viçosa: SBZ, 2000. CD-ROM.

TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, G. A. L.; OLIVEIRA NETO, N. S.; BRIANEZI, D.; ALVES, M. B. B. E. Sistemas agroflorestais no Brasil: uma abordagem sobre a estocagem de carbono. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.34, p. 1-10, 2014.

VALADARES FILHO, S.C., LOPES, S.A. et al., CQBAL 4.0. Tabelas Brasileiras de Composição de Alimentos para Ruminantes. 2018.
Disponível em: www.cqbal.com.br

VALADARES FILHO, S. C.; VALADARES, R. F. D. Recentes avanços em proteína na nutrição de vacas leiteiras. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE BOVINOCULTURA DE LEITE, SINLEITE, 2., 2001, Lavras. Anais... Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2001. p. 228-243.

VAN SOEST, P. J. **Nutritional ecology of the ruminant** 2. ed. New York: Cornell University, 1994.

XAVIER, D. F., DA SILVA LÉDO, F. J., DE PACIULLO, D. S. C., PIRES, M. F. Á., BODDEY, R. M. Dinâmica da serapilheira em pastagens de braquiária em sistema silvipastoril e monocultura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46(10), 1214-1219, 2012.

ZANINE, A. M.; VIEIRA, B. R.; FERREIRA, D. J. et al. Diferença no hábito alimentar de bovinos em pasto de capim-marandu. *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da Unipar*, v. 11, p. 153-162, 2008.

ZEFERINO, C. V. **Morfogênese e dinâmica do acúmulo de forragem em pastos de capim-marandu [*Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich) cv. Marandu] submetidos a regimes de lotação intermitente por bovinos de corte**. 2006. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

CAPÍTULO 3

QUALIDADE DO SOLO EM PASTAGENS SOB PASTOREIO ROTACIONADO AGROECOLÓGICO E PASTEJO CONTÍNUO

Resumo

As pastagens ocupam grandes áreas no Brasil e muitas delas encontram-se pouco conservadas ou degradadas. A degradação das pastagens produz impactos socioeconômicos e ambientais negativos e consideráveis, dada a grande extensão de terras ocupadas pela pecuária bovina a pasto no Brasil. Dentre estes impactos encontram-se aqueles relacionados ao solo e a água. Estratégias eficientes que melhorem a conservação dos solos nas pastagens são necessárias, mas desafiadoras, em especial em regiões como a Zona da Mata de Minas Gerais, cujo relevo montanhoso, com uma estação seca bem definida no inverno, torna as pastagens ainda mais suscetíveis aos processos de degradação e de erosão do solo. O objetivo geral da pesquisa foi avaliar os impactos do pastoreio rotacionado agroecológico (PRA) sobre a qualidade do solo, utilizando indicadores físicos e químicos. Especificamente, objetivou-se caracterizar o solo utilizando seus atributos físicos e químicos. Para isso, foram avaliados dois sistemas de manejo, o pastoreio rotacionado agroecológico (PRA), com a presença de árvores, e pastejo contínuo (PC), com taxa de lotação fixa e sem a presença de árvores. As avaliações foram feitas após pouco tempo (de 10 a 18 meses) de implantação participativa do pastoreio rotacionado, com as pastagens divididas em piquetes. Realizou-se a caracterização granulométrica e avaliou-se a densidade do solo, a densidade de partículas, a porosidade total, a macro e a microporosidade e a resistência mecânica a penetração em amostras indeformadas de solo coletadas na camada de 0 a 5 cm de profundidade, em duas estações (outono e primavera). Testes de campo para avaliação da resistência mecânica à penetração foram realizados utilizando penetrômetro de impacto tipo Stolf, a 60 cm de profundidade em três estações (outono, verão e primavera). Ensaio de infiltração de água no solo para determinar a condutividade hidráulica insaturada e infiltração acumulada foram realizados utilizando infiltrômetro de tensão Minidisk modelo Decagon, em duas estações (outono e primavera). As propriedades químicas foram avaliadas nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 30 cm de profundidade a partir de amostras deformadas. Na profundidade de 0 a 10 cm, menores valores de resistência mecânica à penetração foram observados no sistema PRA, tanto nas amostras indeformadas como nos testes de campo. A condutividade hidráulica insaturada e infiltração acumulada apresentaram maiores valores em PRA, indicando maior permeabilidade na superfície do solo nesse sistema. As médias obtidas

de resistência mecânica à penetração nos testes de campo apresentaram maiores valores em PRA, o que pode estar associado ao maior teor de argila nesse sistema em relação ao sistema PC. No sistema PRA observou-se uma menor acidez do solo, o que pode estar relacionado à decomposição e a maior ciclagem de matéria orgânica proporcionada tanto pelas plantas forrageiras como pelas árvores. Mesmo com pouco tempo de aplicação do sistema PRA, as diferenças observadas nas propriedades hidráulicas do solo, bem como nas propriedades físicas e químicas, demonstraram potencial desse sistema de manejo sobre a qualidade do solo e o monitoramento continuado do experimento pode indicar outros efeitos a médio prazo.

Palavras Chave: agricultura familiar, indicadores químicos de qualidade do solo, indicadores físicos de qualidade do solo, experimentação participativa.

1. INTRODUÇÃO

O Bioma Mata Atlântica é considerado um dos *hotspots* de biodiversidade, pois apesar de ser um bioma de grande importância ecológica está muito ameaçado (Myers et al., 2000). Atualmente, o bioma Mata Atlântica possui apenas cerca de 7% de matas em bons estados de conservação. (Fundação SOS Mata Atlântica; INPE, 2021). No bioma concentra-se cerca de 70% da população brasileira e quase 80% do PIB nacional. Muitos fatores históricos contribuíram para o processo de supressão e degradação do bioma Mata Atlântica, dentre eles a exploração agropecuária, incluindo as pastagens.

As pastagens ocupam grandes extensões de áreas no Brasil, especialmente no estado de Minas Gerais, o estado com maior área absoluta de pastagens. Em Minas Gerais, 34,3% (20,11 milhões de hectares) da sua área total são ocupadas por pastagem (LAPIG, 2020). Destas, cerca de 9,76 milhões de hectares (48,5%) se encontram no bioma Mata Atlântica, 8,86 milhões de hectares no bioma Cerrado e as demais áreas no bioma Caatinga (LAPIG, 2020). Na Zona da Mata de Minas Gerais, mesorregião inteiramente localizada no Bioma Mata Atlântica, cerca 2,07 milhões de hectares são ocupados por pastagens. A maioria destas pastagens, como em grande parte do Brasil, foram classificadas como fortemente degradadas (42,5%), moderadamente degradadas (28,8%), levemente degradadas (23,1%) e não degradadas (5,6%, INAES, 2015).

Dentre as principais causas da degradação estão a localização em áreas inapropriadas ou desfavoráveis, a exemplo das áreas muito declivosas; as práticas de manejo, a exemplo de sistemas sem ajuste adequado das taxas de lotação e da capacidade suporte, que são ineficientes para as condições ecossistêmicas da maior parte das regiões (Rocha Junior et al., 2017); a baixa ciclagem de nutrientes (Zimmer et al., 2012); e o monocultivo, com ausência de arborização.

A degradação da pastagem é um processo acumulativo que se pronuncia pela perda de vigor e de produtividade das plantas forrageiras, com consequente redução da capacidade de suporte da pastagem e, conforme evolui, com alterações na estrutura do solo, que compromete a sua capacidade de retenção e infiltração de água e o torna suscetível à erosão (Macedo, 1995). O ciclo de degradação leva a perda de funções importantes do sistema solo, comprometendo a sua qualidade e respostas às práticas de manejo.

O pisoteio animal, principalmente em taxas de lotação acima da capacidade de suporte, é possivelmente uma das principais causas da degradação das pastagens devido à compactação

e à perda da estrutura do solo. A compactação eleva a densidade nos primeiros centímetros de profundidade (Vzzotto et al., 2000), o que tende a aumentar a resistência mecânica à penetração (Ralisch et al., 2008), a diminuição da infiltração e o aumento do escoamento superficial de água. Tais fatores afetam a região onde se concentram o maior volume de raízes, o que, portanto, limita a capacidade de desenvolvimento das plantas forrageiras e aumentam a suscetibilidade à erosão hídrica.

A erosão hídrica leva a perda da camada mais rica em matéria orgânica e com maior concentração de nutrientes (Silva et al., 2005), o que afeta a fertilidade dos solos nas pastagens. A exportação de nutrientes na forma de carne e leite pode ser considerada relativamente baixa nas pastagens. Os animais podem excretar de 75 a 95% dos nutrientes consumidos no pastejo (Balbinot Junior et al., 2009). Portanto, a redução da fertilidade do solo nas pastagens, está muito relacionada à baixa eficiência da ciclagem de nutrientes e à perda de solo por erosão. Assim, a melhoria ou a manutenção da fertilidade do solo exigem técnicas que aumentem a ciclagem de nutrientes e diminua a erosão, o que nem sempre são realizadas de forma adequada, pois os investimentos necessários possuem custos elevados e tendem a apresentar retorno apenas a médio e longo prazo.

As perdas de nitrogênio, presente principalmente nos dejetos animais, seja por volatilização, lixiviação ou erosão, também contribuem significativamente para a redução da fertilidade do solo e o declínio gradativo das pastagens (Monteiro e Werner, 1989). As perdas de nitrogênio podem ser evitadas com uma boa cobertura do solo, mantida pelo manejo adequado das taxas de lotação, aumento da agrobiodiversidade e a partir de práticas vegetativas e ou mecânicas capazes de reduzir as perdas de solo por erosão hídrica (Panachuki et al., 2006).

A implantação de sistemas de pastoreio rotacionado e a diversificação das pastagens são apontadas como alternativas para recuperar as pastagens degradadas. A ciclagem de nutrientes é mais efetiva nos sistemas de pastoreio rotacionado, pois os dejetos animais são distribuídos mais uniformemente, enquanto em pastoreio não rotacionado, os dejetos tendem a se concentrar em pontos de água ou de sombra (Peron & Evangelista, 2004). O manejo rotacionado melhora, assim, a ciclagem de nutrientes, a partir do aporte de dejetos de maneira mais uniforme, além de diminuir os efeitos do pisoteio animal. Entretanto, o pastoreio rotacionado exige investimentos principalmente para a divisão de pastagens e bebedouros. Tais investimentos nem sempre são acessíveis aos agricultores familiares.

Para a diversificação, há muitas variedades de gramíneas e leguminosas forrageiras disponíveis e que são capazes de promover o aumento da eficiência, o incremento da produtividade e a maior longevidade às pastagens (Carvalho et al., 2021). Ainda como componente da diversificação das pastagens, a arborização é importante para a sustentabilidade da produção a pasto. O manejo e a condução sistemática das árvores na pastagem potencializam a geração de muitos serviços ecossistêmicos, dentre eles aqueles relacionados a qualidade do solo, importantes para a sustentabilidade das pastagens e para ecossistemas de tipologia florestal, como a Mata Atlântica (Vandermeulen et al., 2018).

As árvores na pastagem contribuem para a melhoria da qualidade do solo, devido, dentre outros aspectos, ao aporte de matéria orgânica e a potencialização dos processos biológicos no solo, que melhoram a ciclagem de nutrientes e reduzem as perdas de solo por erosão (Nair et al., 2007, Vallejo et al., 2012). O sistema radicular das árvores explora melhor os horizontes mais profundos do solo, trazendo os nutrientes à superfície por meio da deposição e decomposição de folhas, galhos e demais componentes da biomassa das árvores (Menezes et al., 2002), que também protege o solo contra a erosão.

Portanto, a implantação de sistemas de pastoreio rotacionado e práticas como o manejo do componente arbóreo são chaves para o aumento da eficiência e sustentabilidade da produção animal (Broom et al., 2013), pois podem contribuir significativamente para a produtividade de forragem, o desempenho animal e para aumentar a qualidade dos solos das pastagens.

A qualidade do solo é um conceito amplo, que pode ser compreendido a partir de aspectos qualitativos ou quantitativos, sendo relacionado em maior ou menor grau com o manejo, o potencial produtivo, a sustentabilidade e o impacto ambiental de seu uso e ocupação (Karlen et al., 1997). Em se tratando de agroecossistemas (sistemas agrícolas), a qualidade do solo pode ser compreendida a partir de seu grau de aptidão para fins específicos (Gregorich & Carter, 1997) e pode ser avaliada a partir de indicadores físicos, químicos e biológicos, que permitem descrever as alterações da qualidade do solo provocadas por determinadas formas de intervenção antrópica.

Dentre os indicadores físicos de qualidade do solo, os mais utilizados são a estrutura e a agregação, a compactação, a densidade, a porosidade, a resistência a penetração, a capacidade de retenção de água, a condutividade hidráulica, a textura, a densidade das partículas e a espessura do horizonte A (Araújo et al., 2012). Atributos como textura e densidade das

partículas, em geral, não variam em função do manejo, mas são importantes, pois indicam características genéticas do ambiente de estudo e podem estar relacionadas ao maior ou menor suscetibilidade a erosão, à capacidade de infiltração e armazenamento de água e à resistência a alterações físicas.

As propriedades químicas do solo constituem também indicadores importantes da capacidade de suporte das pastagens, pois indicam a capacidade de desenvolvimento de plantas e podem ser alteradas em função de práticas de manejo adotadas (Freitas et al., 2017). O pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), a matéria orgânica e a concentração de nutrientes são os principais indicadores químicos utilizados na avaliação da qualidade do solo (Cardoso et al., 2013).

Dado à necessidade de melhorar as pastagens, famílias agricultoras agroecológicas do município de Divino-MG em parceria com o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata (CTA-ZM) e grupos de pesquisa da Universidade Federal de Viçosa tomaram a iniciativa de melhorar o manejo de pastagens a partir dos princípios da agroecologia. Estes princípios estão sendo compreendidos ao longo de anos por meio de intercâmbios, encontros, oficinas e demais ações coletivas (Zanelli et al., 2015).

Como parte desta iniciativa, elaborou-se e executou-se uma proposta de pastoreio rotacionado agroecológico (PRA). A base desta proposta foi a divisão das pastagens associada ao manejo das árvores no sistema pastoril. A combinação destas duas práticas foi uma opção discutida com as famílias e está em consonância com os objetivos, possibilidades e princípios agroecológicos. No PRA não houve uso de insumos químicos e irrigação.

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar os impactos do pastoreio rotacionado agroecológico (PRA) sobre a qualidade do solo, utilizando-se indicadores físicos e químicos. Especificamente, objetivou-se caracterizar o solo utilizando seus atributos físicos e químicos. Os indicadores utilizados para a caracterização do solo foram a densidade do solo, a porosidade, a resistência mecânica a penetração, a condutividade hidráulica insaturada, a infiltração acumulada, o pH, a concentração de nutrientes, a capacidade de Troca Catiônica (CTC), a soma e a saturação de Bases (SB e V%) e a saturação de alumínio (m). Para fins de avaliação, os indicadores foram estudados em uma pastagem manejada sob pastoreio rotacional agroecológico (PRA) e em outra sob pastejo contínuo (PC).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

A área de estudo selecionada corresponde à uma propriedade da agricultura familiar situada na comunidade da Vargem Grande, município de Divino-MG (23 K 787540.30 m E 7716792.46 m S) e que possui aproximadamente 24 hectares, dos quais cerca de nove hectares são ocupados por pastagens e os outros 15 hectares ocupados por lavouras de café, culturas anuais, quintal (hortas e pomares) e mata nativa. O relevo predominante é montanhoso, sendo que as encostas declivosas constituem a maior parte da propriedade. As pastagens estão localizadas em encostas predominantemente convexas. A classe de solo predominante em encostas convexas na região é Latossolo Vermelho-Amarelo, cuja densidade, em geral, encontra-se em torno de 1,10 (Carmo et al., 2011), mas podem alcançar 1,43 em áreas de pastagem (Portugal et al., 2010).

A família participante do experimento, formada pelo casal, uma filha e dois filhos, possui ampla inserção nos movimentos relacionados à agroecologia no município e na região e é bastante atuante nas ações realizadas pelo sindicato da agricultura familiar e dos trabalhadores rurais (SINTRAF) do município e seus parceiros, a cerca de 12 anos. O envolvimento dessa família perpassa pelas ações de articulação, espaços de interação agroecológica, experimentações das práticas de manejo relacionadas à produção orgânica e agroecológica, dentre outras. As principais atividades produtivas na propriedade estão relacionadas à cafeicultura, à pecuária, à horticultura, à fruticultura e à produção de quitandas para a comercialização. A diversificação dos cultivos e a produção de alimentos sem uso de agrotóxicos é uma das características importantes da propriedade, que além da comercialização local também participa da entrega semanal de produtos agroecológicos em Belo Horizonte, organizada pela Cooperativa da Agricultura Familiar Solidaria de Divino (COOPERDOM).

A criação de animais e a cafeicultura, como praticadas na propriedade, é comum no município. A prática destas atividades foi herdada de gerações anteriores. Com o envolvimento da família no movimento agroecológico, os cuidados com a produção saudável de alimentos, tanto de origem animal como vegetal e a conservação do solo, da água e da biodiversidade estão sendo cada vez mais priorizadas pela família. A elaboração da presente pesquisa foi feita de forma articulada com a família com o objetivo de contribuir para melhorar suas práticas e conhecimentos.

Toda a pesquisa foi realizada em parceria com o Centro de Tecnologias Alternativas da Zona da Mata mineira (CTA-ZM) e o Sindicato dos Trabalhadores na Agricultura Familiar (SINTRAF) de Divino, MG.

2.2. Tratamentos, amostragem, coleta e processamento de amostras

Os tratamentos considerados para a condução do experimento foram os sistemas de manejo aqui denominados Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e Pastejo Contínuo (PC). O PRA tem como características principais a divisão em piquetes e a presença de árvores, manejadas de acordo com suas funcionalidades no sistema na percepção do agricultor. O manejo rotacionado (PRA) foi implantado em uma área experimental com cerca de 0,95 ha, com a presença de árvores com idades variando entre 5 e 17 anos. Essa área é utilizada como pastagem a cerca de 15 anos e anteriormente foi utilizada com lavoura de café por um período de aproximadamente 10 anos. Atualmente, a pastagem é formada predominantemente por *Brachiaria Brizantha* cv Marandu. Em 2021, a área foi subdividida com cercamento elétrico, em sete piquetes e corredores de acesso.

A área utilizada para o pastejo contínuo (PC) possui cerca de 3,1 há. Desde que a família reside na propriedade, não há recordação de outro tipo de uso e ocupação dessa área a não ser como pastagem. A taxa de lotação animal foi de aproximadamente 2,3 UA/ha, com um rebanho composto de quatro vacas secas, um garrote e 5 bezerros/as. Essa área é também foi formada com *Urochloa Brizantha* cv Marandu, que segundo o agricultor não persistiu de forma satisfatória na área, dando frequentemente espaço a ocupação por *Brachiaria decumbens* e plantas espontâneas e até mesmo de porções de solo exposto.

As áreas amostradas das duas áreas de pastagens apresentam características bastantes similares (Tabela 1).

Tabela 1. Características das áreas de pastagem onde pesquisa participativa com pastoreio rotacionado e pastejo contínuo foi realizada, em Divino, Minas Gerais.

	Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA)	Pastejo Contínuo (PC)
Área total da pastagem (ha)	0,95	3,1
Área líquida de pastejo (ha)	0,74	3,1
Número de piquetes	7	-
Área média dos piquetes (m ²)	1053	-
Maior área piquete (m ²)	1984	-
Menor área piquete (m ²)	697	-
Presença de árvores nas pastagens	sim	Não
Pedoforma	Convexa 1/3 inferior da encosta	Convexa 1/3 inferior da encosta
Altitude mínima	803	820
Altitude máxima	838	852
Média de altitude	821	836
Declividade média (%)	17,94	21,44
Face de exposição	Sudoeste	Sudoeste

A instalação do sistema de pastoreio rotacionado foi realizada pelo pesquisador junto aos agricultores. Para a aquisição da infraestrutura exigida para a implantação do sistema rotacional, contou-se com o apoio do Projeto internacional de pesquisa Forefront, que aportou recursos para a realização das atividades e implantação dos sistemas de pastoreio. Em planejamento participativo com o grupo de agricultores, chegou-se ao acordo de que cada família receberia o montante de R\$2.000,00 para investimentos no manejo das pastagens, de acordo com os objetivos e condições de cada propriedade. O cercamento elétrico foi uma das prioridades do grupo, com a maior parte dos investimentos destinados para a aquisição de arame farpado e arame galvanizado para eletrificação, isoladores tipo castanha e W, hastes de aterramento, tubos isoladores e caixas d'água.

Na área sob o sistema PRA identificou-se 20 indivíduos de 15 espécies arbóreas. Com o auxílio do agricultor, as espécies arbóreas foram identificadas na área, dentre elas embaúba (*Cecropia pachystachya*), mamica de porca (*Zanthoxylum rhoifolium*), eucalipto (*Eucalyptus spp.*), abacateiro (*Persea spp.*), papagaio (*Aegiphila sellowiana*), pau-colher (*Tabernaemontana spp.*), capoeira branca (*Solanum mauritianum Scop.*), seriguela (*Spondias purpúrea*), nêspera (*Eriobotrya japônica*), Garapa (*Apuleia leiocarpa*), Cinco folhas (*Sparattosperma leucanthum*) e jacarandá, jambo, café-do-mato e maria-preta, que não puderam ser identificadas pelo científico. Segundo o agricultor, com exceção do eucalipto, as árvores presentes na área são provenientes de regeneração natural, por isso encontram-se sob distribuição dispersa, e com diferentes idades e altura.

A taxa de lotação animal no sistema PRA foi de 2,7 UA/hectare, com a ocupação de duas vacas em lactação por 2 a 3 dias em cada piquete. O período de repouso adotado variou de acordo com a altura da gramínea, observada pelo agricultor. O crescimento da gramínea varia de acordo com a época do ano e por isto o período de repouso também variou, mas em média foi de 30 dias. No ano de 2021, os piquetes foram utilizados de abril a agosto, sendo fechados então até o mês de novembro para recuperação da pastagem após o período de seca, quando passaram a ser novamente utilizados entre o mês de novembro de 2021 até agosto de 2022.

As coletas de solo foram realizadas de setembro de 2021, aproximadamente 5 meses após o início do uso do manejo rotacionado, até novembro de 2022, portanto 14 meses após o início do uso do manejo. Amostras deformadas e indeformadas de solo foram coletadas e testes de campo com penetrômetro de impacto e infiltrômetro minidisk foram realizados. Uma área de um hectare, ao lado da área dos piquetes, em PC, foi demarcada para as amostragens do solo, que ocorreram na mesma época de PRA.

2.3. Atributos físicos do solo

2.3.1. Determinações no laboratório

A granulometria do solo foi determinada a partir de amostras deformadas, coletadas na profundidade de 0 a 20 cm, com sete repetições por sistema de manejo. Foram coletadas 21 amostras simples no sistema PRA (três por piquete, de forma aleatória) e 21 no sistema PC, a uma distância média entre 15 e 20 metros dos pontos de amostragem simples, em ambos os

sistemas. Com um conjunto de 3 amostras simples, formou-se cada uma das 7 amostras compostas por sistema de manejo.

A partir de subamostras compostas de TRFA, realizou-se a separação a partir da dispersão das frações argila, silte, areia fina e areia grossa, utilizando NaOH como agente dispersante. As amostras de TFSA passaram por agitação lenta (50 opm) durante 16 horas para separação das partículas. As proporções das frações de argila e de silte foram determinadas pelo método da pipeta e a proporção das frações areia fina e areia grossa foi obtida por peneiramento (Donagema et al., 2011),

A porosidade total (PT), a macro e a microporosidade, a densidade do solo (D_s) e a densidade de partículas (D_p) foram determinadas em amostras indeformadas coletadas em anel volumétrico, com volume conhecido, na profundidade de 0-5 cm, segundo metodologia proposta por Donagema et al. (2011). Para essas análises foram coletadas 20 amostras em cada sistema de manejo, em dois períodos distintos, outubro de 2021 (início da estação chuvosa), e maio de 2022 (final da estação chuvosa e início da estação seca), com distribuição dos pontos de coleta o mais homogênea possível, compreendendo uma área similar em cada um dos sistemas avaliados.

As amostras foram inicialmente saturadas em laboratório, e submetidas à mesa de tensão a 6 kPa, por 72 horas, até atingir o equilíbrio. As amostras foram então pesadas para conhecimento da massa de solo úmido, submetidas ao teste de resistência a penetração e em seguida levadas à estufa de ar quente forçado, a 65 °C por 72 horas para obtenção da massa seca de solo. Com a diferença entre a massa de solo úmido e a massa de solo seco, tem-se a massa de água retida nas amostras na tensão de 6 kPa, que corresponde ao volume de água retido nos microporos, chegando assim ao seu volume.

O teste de resistência mecânica à penetração, com umidade equilibrada na tensão de 6 kPa, foi realizado com penetrômetro de bancada Marconi, modelo MA-933, obtendo-se os valores de resistência média do solo à penetração na profundidade de 0 a 5 cm.

Para a determinação da densidade do solo utilizou-se a massa seca de solo após a secagem em estufa dividida pelo volume de cada anel. A densidade de partículas de cada amostra foi obtida por meio da moagem das amostras secas em estufa e peneiramento a 2mm, utilizando-se o método do balão volumétrico, com balões de volume aferido, em torno de 50 mL.

Com os valores da densidade do solo e densidade de partículas, calculou-se a porosidade total por meio da equação 1.

$$(1) PT = 1 - Ds/Dp$$

A macroporosidade foi calculada a partir da diferença entre a porosidade total e a microporosidade obtida na mesa de tensão.

2.3.2. Avaliações de Campo

Resistência mecânica do solo à penetração

Em campo, testes de resistência mecânica do solo à penetração foram realizados, utilizando penetrômetro de impacto tipo Stolf, até 60 cm de profundidade, com amostragem de 28 pontos por sistema de manejo, nos meses de novembro/2021 (estação chuvosa), março/2022 (final da estação chuvosa), maio/2022 (estação mais seca). A distribuição dos pontos de amostragem se deu de forma aleatória, considerando 4 leituras em cada piquete em PRA e 28 pontos de leitura em PC. buscou-se seguir o mesmo padrão de distribuição dos pontos nas áreas PRA e PC.

Os dados coletados em campo foram transferidos para planilha específica, para a determinação da curva de resistência do solo à penetração e para o cálculo dos valores de resistência média encontrados na curva.

Condutividade hidráulica insaturada e infiltração de água no solo

Testes de condutividade hidráulica insaturada e infiltração de água no solo foram realizadas utilizando Infiltrômetro de Tensão Mini Disk DECAGON. Este dispositivo é composto de uma proveta de 90 ml graduada em mm, com placa porosa 4,5 cm de diâmetro colocada na base da proveta para liberar a água quando em contato com o solo (Decagon Devices 2005). Foram realizadas 21 leituras em cada sistema de manejo em cada um dos períodos avaliados (maio/2022, início da estação seca e outubro/2022, início do período chuvoso), com pressão de sucção ajustada para 0,5 cm, durante 4 minutos, com leituras do volume de água liberada a cada 30 segundos.

Os dados obtidos em campo foram transferidos para a planilha fornecida pelo fabricante, para calcular a condutividade hidráulica e da taxa de infiltração acumulada de água no solo seguindo método proposto por Zhang (1997).

2.4. Propriedades químicas do solo

Para as análises químicas do solo, 21 amostras simples foram coletadas no sistema PRA (três por piquete) e 21 no sistema PC, formando sete amostras compostas por sistema de manejo, nas profundidades de 0-10 e 10-30 cm. A amostragem foi realizada nos mesmos pontos de coleta das amostras destinadas a análise física do solo.

O pH em água foi determinado por potenciometria na proporção solo:solução de 1:2,5 (EMBRAPA, 1997). O P disponível e K⁺ trocáveis foram extraídos com Mehlich-1 e determinados por colorimetria (P) e fotômetro de chama (K). H⁺+Al³⁺ foi extraído com (CH₃COO)₂Ca.H₂O 0,5 mol L⁻¹ e quantificado por titulometria com NaOH 0,025 mol L⁻¹. Avaliou-se Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis por extração com solução de KCl 1,0 mol L⁻¹ e determinação por espectrometria de absorção atômica.

2.5. Análises estatísticas

A abordagem estatística utilizada foi a de estudo observacional (Gotelli & Ellison, 2011), mais apropriada para análises *in situ*, pois muitos dos fatores não são totalmente controlados.

Os dados obtidos foram submetidos a verificação de normalidade de distribuição (tese de Jarque-Bera) e homogeneidade de variâncias (testes de Levene). Os dados que não atenderam a tais pré-requisitos foram transformados utilizando escala logarítmica. A comparação entre os sistemas de manejo foi realizada pelo teste SNK (Student-Newman-Keuls), a 5% de probabilidade de erro α .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Propriedades físicas do solo

A densidade de partículas, distribuição granulométrica e a classe textural encontram-se na Tabela 2. Não houve diferença significativa de densidade de partículas e a classe textural foi argilosa em ambos os sistemas de manejo. Estes dados indicam semelhança entre a gênese dos solos nos diferentes pontos amostrados. Entretanto, as pastagens encontram-se no 1/3 inferior da encosta (Tabela 1). Estas são áreas de sopé que podem ter sofrido influência diferenciadas de depósitos no passado, o que pode refletir no teor de argila um pouco maior em PRA.

Tabela 2 - Densidade de partículas (DP, 0-5 cm de profundidade), distribuição granulométrica e classe textural do solo (0-20 cm de profundidade) de pastagens sob Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e Pestejo Contínuo (PC), Divino, Minas Gerais

manejo	Dp	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Classe textural
	g/cm^3					
PRA	2,564	0,279	0,125	0,103	0,492	Argilosa
PC	2,611	0,319	0,142	0,117	0,422	Argilosa

Na Tabela 3 encontram-se os dados de densidade, porosidade, umidade a 6 kPa e resistência mecânica do solo à penetração. Na estação chuvosa, a densidade do solo no sistema PRA foi maior ($p < 0,05$) em relação ao PC e na estação seca, as densidades do solo foram similares ($p < 0,05$) em ambos os sistemas de manejo. A densidade do solo pode variar ao longo do ano (Da Silva et al., 2019), a depender do regime de chuvas, que influencia a umidade do solo e as características de expansão e retração das argilas na camada superficial.

Os maiores valores de densidade do solo não eram esperados em PRA, já que nesse sistema objetivou-se, dentre outros fatores, reduzir o trânsito dos animais na busca por alimento. Contudo, em PRA, houve maior oferta de forragem e maior taxa de lotação animal (2,7 UA/ha) em relação a PC (2,3 UA/ha), o que pode ter contribuído pela maior densidade do solo na camada avaliada. Já no período seguinte, após um ano de pastoreio rotacionado (maio de 2022), houve uma redução na densidade média do solo em PRA (de 1,34 para 1,30 g.cm^{-3}). A renovação mais constante do sistema radicular das plantas forrageiras pode ter influenciado a densidade.

Embora estatisticamente diferente, a densidade em PRA foi apenas 4% maior do que em PC. Ainda, a variação da densidade do solo (de 1,29 a 1,34 g.cm^{-3}) observada na camada superficial (Tabela 3) não indica necessariamente compactação do solo. Alguns autores não consideraram como compactados solos de pastagens com densidade variando entre 1,20 a 1,51 g.cm^{-3} (Moreira et al., 2005; Matias et al., 2009; Ortigara et al., 2014). Entretanto, a densidade depende da classe textural do solo.

A porosidade total e a macroporosidade foram similares ($P < 0,05$) entre os sistemas de manejo, em ambos os períodos avaliados (Tabela 3). Entretanto, no período mais seco, a macroporosidade de PRA foi 10% maior do que no PC. A macroporosidade de PRA pode ser considerada como mais propícia para uma difusão adequada de oxigênio no solo, responsável

pelo bom desenvolvimento de raízes (Grable & Siemer, 1968). A microporosidade foi maior ($P < 0,05$) em PC em ambos os períodos, o que influenciou a maior ($P < 0,05$) umidade do solo na tensão de 6 kPa (Tabela 3). Os microporos, devido ao seu reduzido diâmetro, são essencialmente importantes para a retenção de água no solo (Clothier, 2008), diferentemente dos macroporos, que são mais importantes na aeração, trocas gasosas com a atmosfera, disponibilidade de oxigênio para raízes e percolação de água (Gliński et al., 2008).

Apesar de uma menor microporosidade, uma maior densidade do solo foi observada em PRA (Tabela 3). Embora o aumento da microporosidade possa ser favorecido pela compactação do solo (maior densidade), ela pode também ser influenciada por outros fatores, como por exemplo, teor de matéria orgânica e textura do solo (Silva e Kay, 1997).

Tabela 3 - Propriedades físicas de amostras indeformadas de solo (0-5 cm de profundidade) em pastagens sob Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e Pastejo Contínuo (PC) e duas épocas distintas, Divino, Minas gerais

	set/21	mai/22
manejo	Densidade do Solo (g.cm⁻³)	
PRA	1,34 (0,01) A	1,30 (0,02) a
PC	1,29 (0,02) B	1,30 (0,01) a
	Porosidade Total (v/v)	
PRA	0,49 (0,01) A	0,48 (0,01) a
PC	0,50 (0,01) A	0,50 (0,01) a
	Microporosidade (v/v)	
PRA	0,38 (0,01) B	0,39 (0,01) b
PC	0,41 (0,01) A	0,42 (0,01) a
	Macroporosidade (v/v)	
PRA	0,11 (0,01) A	0,09 (0,01) a
PC	0,09 (0,01) A	0,09 (0,01) a
	Umidade (%)	
PRA	28,30 (0,47) B	30,39 (0,81) b
PC	33,34 (0,84) A	32,66 (0,52) a
	Resistência à Penetração (MPa)	
PRA	1,29 (0,13) B	1,50 (0,08) b
PC	1,65 (0,10) A	2,47 (0,10) a

Valores seguidos de letras diferentes entre linhas diferem entre si pelo teste de Student-Neuman Keuss a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses representam o erro padrão da média

No período chuvoso, em PC, apesar do maior teor de umidade (a 6 KPa) e da menor densidade do solo, a resistência mecânica do solo à penetração foi maior ($p < 0,05$) do que em PRA (Tabela 3). Na estação mais seca, a resistência a penetração também foi maior em PC e atingiu aproximadamente 2,5 Mpa (Tabela 3). Para a maioria das culturas, resistência a penetração acima de 2,5 MPa é considerada restritiva ao crescimento radicular (Imhoff et al., 2000), mesmo para plantas forrageiras com maior rusticidade, a exemplo da *Brachiaria Brizantha* cv Marandu (Rodrigues, 2004; Silva & Ferrari, 2014). Menores valores de resistência mecânica a penetração, como observados em PRA (Tabela 3), são favoráveis ao bom desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a maior produção de biomassa.

De setembro a maio (Tabela 3), observou-se um aumento da resistência mecânica do solo à penetração e esta foi mais pronunciada no sistema PC (de 1,65 para 2,57 MPa) do que no sistema PRA (de 1,29 para 1,50 MPa). A menor diferença em PRA pode estar relacionada à

maior oferta de forragem no sistema PRA mesmo no período seco (capítulo 2), que reduziu a necessidade de trânsito dos animais no sistema em busca de alimento.

Além do menor pisoteio animal reduzir a resistência do solo à penetração, o período de repouso da pastagem proporcionado em PRA pode ter favorecido ainda mais o desenvolvimento radicular na camada mais superficial do solo, o que influencia à resistência à penetração. A concentração de biomassa de raízes de *Brachiaria Brizantha* nos primeiros 10 cm do solo pode chegar a 60% da biomassa total do sistema radicular (Razuk, 2002). A renovação radicular, o acúmulo de material senescente e a deposição mais bem distribuída dos dejetos animais tendem a minimizar os efeitos do pisoteio animal sobre a estrutura do solo (Trujillo et al., 2006) e levar a menores valores de resistência mecânica a penetração nas camadas mais superficiais de solo. O período de repouso, portanto, pode ser apontado como um dos fatores que contribuiu para diminuir os valores de resistência mecânica a penetração do solo (indicador de compactação).

3.2. Resistência mecânica do solo à penetração em campo

A resistência mecânica à penetração do solo avaliada a campo (Tabela 4), na profundidade de 0-60 cm, apresentou resultados diferentes daqueles avaliados em amostras indeformadas no laboratório, na camada superficial (0 a 5 cm). Ao contrário da avaliação em laboratório, em PRA, a resistência mecânica à penetração foi maior ($P < 0,05$) do que em PC, nos três períodos avaliados. Embora a diferença não tenha sido significativa, na camada de 0-20 cm, o teor de argila em PRA ($0,492 \text{ kg.kg}^{-1}$) foi maior do que em PC ($0,422 \text{ kg.kg}^{-1}$, Tabela 2). Solos mais argilosos podem apresentar maior resistência à penetração (Andrade et al., 2013).

Houve aumento da resistência mecânica do solo à penetração na transição (média, mínima e máxima) da estação mais chuvosa para a estação mais seca em ambos os sistemas de manejo avaliados (Tabela 4). A própria ausência de chuvas, que reduz a umidade do solo, também favorece aumentos na resistência a penetração. Além disto, nos períodos mais secos, a capacidade de acúmulo de forragem também tende a se reduzir, independentemente do sistema de manejo (Manjolin et al., 2018).

A redução na oferta de forragem leva ao superpastejo, cujas consequências afetam sobremaneira a compactação do solo indicada pela resistência mecânica à penetração. Portanto, a sazonalidade da produção de biomassa forrageira nas pastagens reforça a necessidade de se planejar a ocupação das pastagens de acordo com a precipitação pluviométrica e adotar estratégias para oferta de alimentos volumosos nas estações mais secas.

Tabela 4 - Resistência mecânica do solo à penetração (MPa) em diferentes manejos e períodos de avaliação até 60 cm de profundidade

Momento da Coleta - estação	Manejo	RP med	RP min	RP max
Chuvosa	PRA	1,82 a	0,82 a	2,56 a
	PC	1,51 b	0,93 a	2,05 b
Menos chuvosa	PRA	1,88 a	0,79 a	2,59 a
	PC	1,63 b	1,01 b	2,16 b
Mais seca	PRA	2,96 a	1,76 a	4,26 a
	PC	2,25 b	1,37 b	3,47 b

PRA: Pastoreio Rotacionado Agroecológico; PC: PASTEJO CONTÍNUO; RP med: média da resistência do solo à penetração; RP min: mínima da resistência do solo à penetração; RP max: máxima da resistência do solo à penetração

A resistência a penetração em diferentes profundidades (Figura 1), no PRA, nas três estações, na camada mais superficial (primeiros 5 cm de profundidade), como observado nos testes de laboratório, foi menor do que no PC (Figura 1). Em PRA, houve maior produção de biomassa forrageira (capítulo 2) e presença de árvores. A maior produção biomassa forrageira e as árvores contribuem para maior aporte de material senescente, responsável por maior cobertura do solo e incremento da matéria orgânica à superfície, o que, em conjunto, contribuem para uma menor resistência mecânica a penetração nessa camada (Carvalho, et al., 2004; Ferreira et al., 2018).

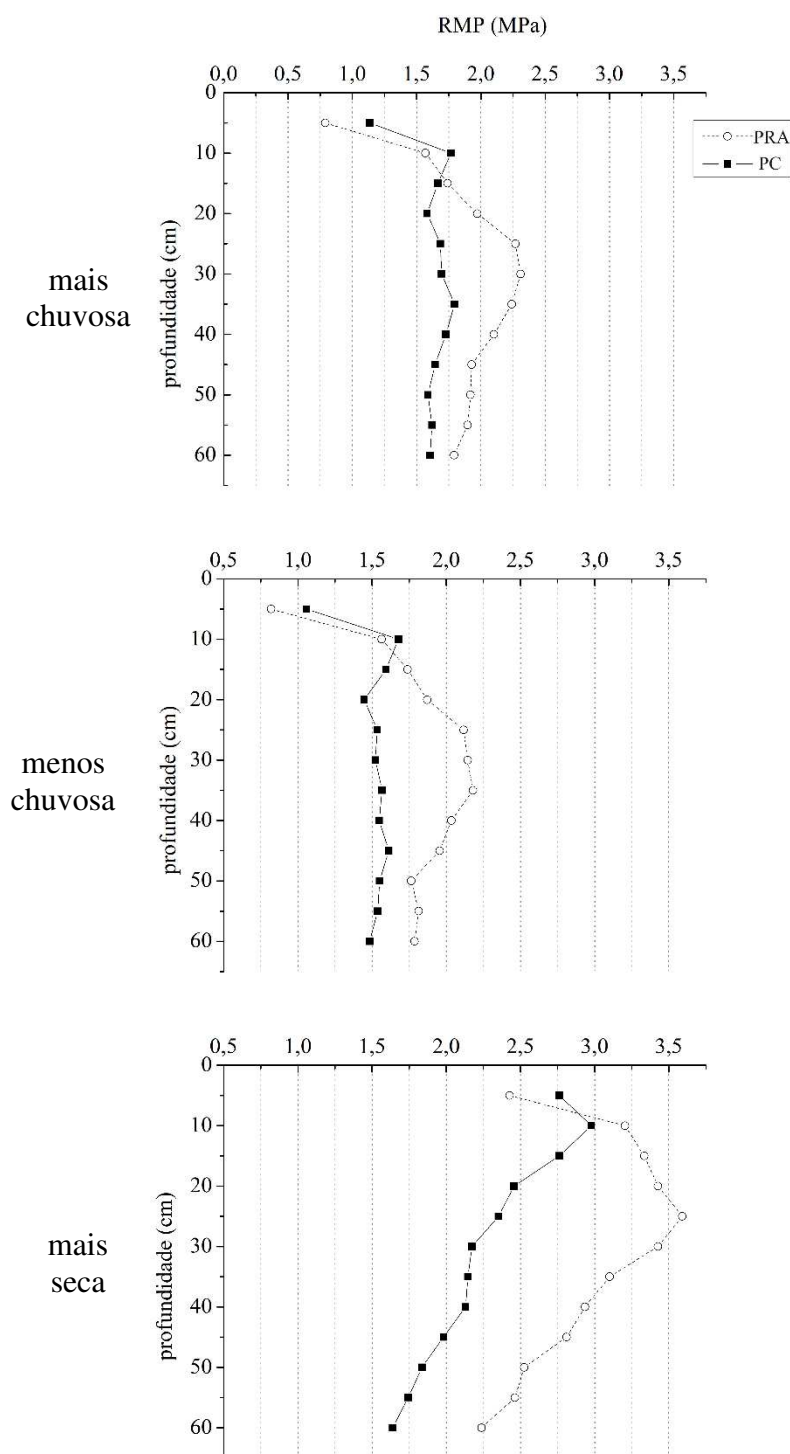


Figura 1. Resistência mecânica do solo à penetração (RMP, em MPa) em diferentes estações e sistemas de manejo de pastagens (PRA – Pastoreio Rotacional Agroecológico e PC – Pastoreio Contínuo), a 60cm de profundidade, Divino, Minas Gerais.

Em estudo realizado por Carvalho et al. (2004), a partir dos 15 centímetros de profundidade a resistência mecânica a penetração (Figura 1) aumentou e atingiu os maiores valores em torno dos 30 cm de profundidade. A densidade do horizonte A, mais superficial (espessura de 8 a 30 cm) e com mais matéria orgânica é, em geral, menor do que a densidade dos horizontes mais subsuperficiais, com menos influência da matéria orgânica (Carvalho, 2011). Ainda, em profundidade ainda maiores, o sistema radicular menos denso altera as forças de resistência e tornam os solos mais resistentes à penetração. Entretanto, na estação mais seca, a resistência se torna menor em profundidade, possivelmente ainda efeito da umidade do solo, que deve ser maior do que nos horizontes mais superficiais.

A maior resistência mecânica a penetração ao longo do perfil do solo (Figura 1) foi observada em maio de 2022, início da estação seca. A umidade do solo diminui a resistência do solo à penetração (Silveira et al., 2010), pois a água no solo atua como lubrificante natural e alterações no seu teor modificam a coesão entre as partículas do solo, de modo que a transição para um período mais seco pode facilmente elevar a resistência a penetração. Ainda, o pastejo no período das águas associado ao maior teor de umidade podem levar a alterações na estrutura do solo e resultar em maior resistência a penetração no início do período seco.

Na profundidade de 10-60 cm a resistência à penetração foi maior em PRA (Figura 1). Talvez pequenas alterações do teor de argila em profundidade, como observado de 0-20 cm (Tabela 2), tenha contribuído para este aumento na resistência à penetração. Contudo, as análises foram realizadas em um período curto (de 6 meses a um ano) após a implantação do PRA. O monitoramento dessas áreas ao longo do tempo pode apresentar resultados mais consistentes sobre os efeitos das práticas de manejo adotadas sobre os atributos físicos do solo, especialmente em profundidade.

3.3. Condutividade hidráulica insaturada, infiltração acumulada e volume de água no solo

Os resultados dos testes de infiltração e condutividade hidráulica insaturada encontram-se na Tabela 5. Nos dois momentos avaliados (maio e outubro de 2022), os parâmetros avaliados diferiram ($p < 0.05$) entre os sistemas de manejo. A condutividade hidráulica insaturada, a infiltração acumulada e o volume de água infiltrado foram maiores em PRA.

Tabela 5 - Condutividade hidráulica insaturada (K), taxa de infiltração acumulada de água no solo e volume de água infiltrado (Vol) em pastagens sob Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e Pestejo Contínuo (PC), em duas épocas do ano. Divino-MG

período	manejo	K (cm/s)	Infiltração acumulada (cm)	Vol (mL)
mai/22	PRA	0,000178 a	0,639 a	10,12 a
	PC	0,000134 b	0,289 b	4,67 b
out/22	PRA	0,0001416 a	0,449 a	7,14 a
	PC	0,0000312 b	0,237 b	3,76 b

Valores seguidos de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Student-Neuman Keuss a 5% de probabilidade

Diferentemente da condutividade hidráulica em meio saturado, que é determinada com todos os poros do solo preenchidos com água (Fetter et al., 1999), a condutividade hidráulica insaturada é determinada quando parte desses poros está preenchida de ar, fazendo com que a movimentação da água seja muito mais lenta (Hillel, 1971). Na condutividade hidráulica insaturada, há dependência não apenas da geometria e distribuição de poros, mas também de sua tortuosidade e arranjo dentro da estrutura do solo (Cintra, 1997). A maior condutividade hidráulica insaturada observada em PRA está provavelmente mais relacionada a qualidade estrutural do solo do que a porosidade em si, pois a macroporosidade, importante para a condutividade hidráulica, foi similar ($p < 0,05$) nos sistemas de manejo (Tabela 3).

A curva de infiltração acumulada (Figura 2), em PRA, apresentou maior inclinação, indicando que houve maior volume de infiltração acumulada em PRA e, este acúmulo foi crescente no período de tempo empregado no teste (240 segundos). Este tempo não permitiu atingir o máximo de infiltração, quando a curva passaria a apresentar incrementos decrescentes. No segundo período avaliado (outubro/2022), a curva do sistema PC apresentou incrementos decrescentes, dado o valor negativo do primeiro componente da equação de ajuste, indicando que mesmo em um período curto de teste, a infiltração foi comprometida. Menor infiltração de água no solo, significa menor abastecimento dos corpos hídricos e maior escoamento superficial, com possibilidade de maior erosão do solo e assoreamento dos corpos de água.

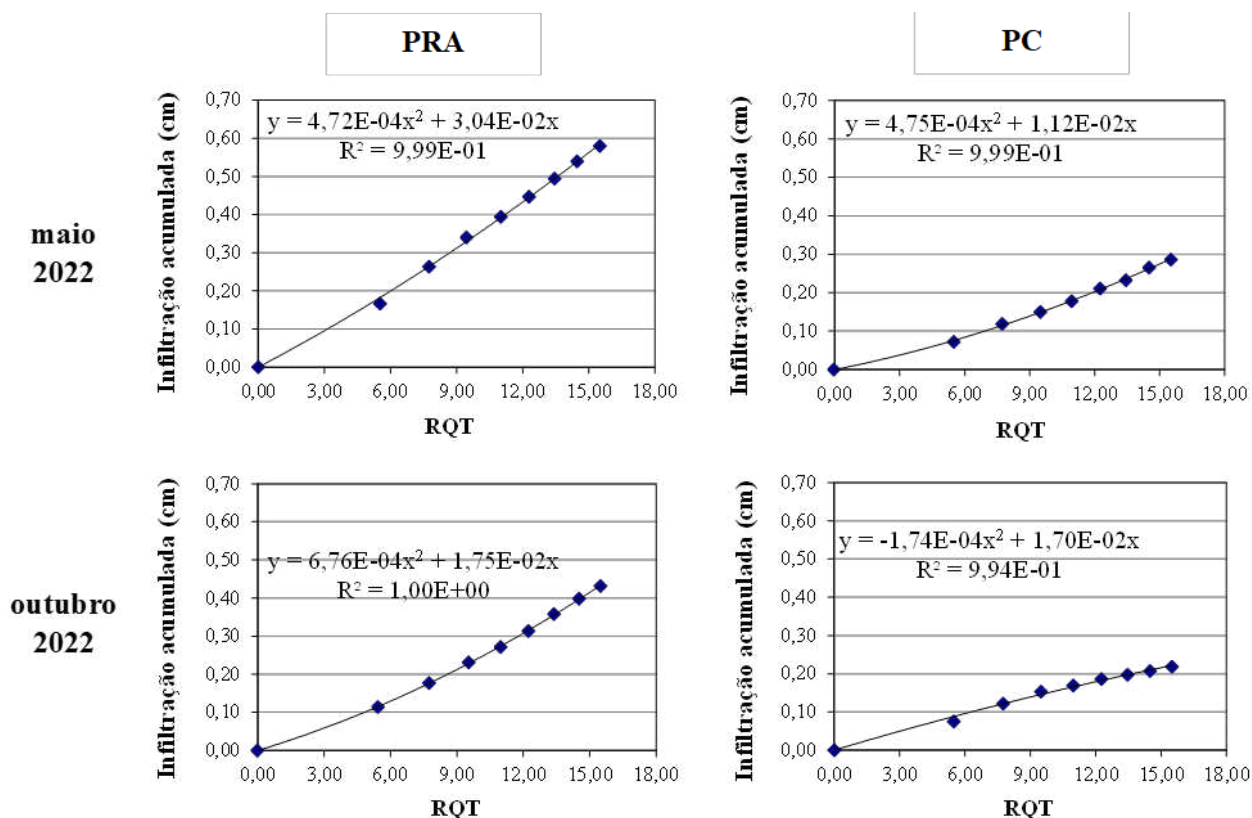


Figura 2. Infiltração de água acumulada (cm) em 240 segundos, em condição diferente de umidade do solo (maio, mais seco e outubro mais úmido) em Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e pastoreio contínuo (PC). RQT: Raiz quadrada do tempo (s), Divino, Minas Gerais.

A curva de infiltração também possui interferência da estrutura do solo, pois a depender da estrutura haverá maior ou menor facilidade de infiltração da água em superfície (Marques et al., 2009) e o grau de preservação e natureza da estrutura do solo é muito afetado pelo tipo de vegetação e manejo do solo (Mendonça et al., 2014). Entretanto, a maior abundância do sistema radicular também leva a maior infiltração de água no solo (Wu et al., 2016; Huang et al., 2017). Em relação a PC, no PRA foi observada maior cobertura do solo e houve maior produção de biomassa forrageira (capítulo 2). A maior atividade das raízes em PRA possivelmente foi uma das responsáveis pela condutividade hidráulica e infiltração acumulada em PRA..

Além da própria influência da forragem sobre a cobertura do solo e produção de raízes, as árvores presentes no sistema podem também ter contribuído para a maior movimentação da água em PRA. As árvores possuem sistema radicular mais profundo e com raízes mais grossas do que a gramínea e, por isto, criam caminhos preferenciais para a movimentação de água no

solo (Pruski et al., 1997), além de favorecer a cobertura e proteção do solo pela deposição de materiais senescentes.

A qualidade física do solo determina a boa infiltração, a retenção e a disponibilidade de água para o desenvolvimento vegetal (Reichert et al., 2003). Por isto, a infiltração e a condutividade hidráulica são bons indicadores da qualidade física do solo (Bertol et al., 2000). A escassa cobertura do solo observada em PC provavelmente contribuiu para a menor condutividade hidráulica insaturada e infiltração de água no solo, pois a elevada energia cinética das gotas de chuva causa a fragmentação física dos agregados do solo, que sofrem dispersão físico-química, com posterior percolação da argila e entupimento dos poros e selamento superficial dos solos (Agassi et al., 1985). O selamento forma uma camada, que apesar de pouca espessa, diminui as taxas de infiltração e pode comprometer a emergência de plantas (Richart et al., 2005). Em solos descobertos, a infiltração acumulada pode ser reduzida entre 40 a 73% (Lal, 1974).

Em períodos de chuva, a boa cobertura do solo é essencial para a redução da velocidade do escoamento superficial e o controle do potencial erosivo da enxurrada (Sloneker & Moldenhauer, 1977), pois dissipa a energia cinética da chuva, diminuindo a desagregação de agregados e o selamento superficial. Os resultados do comportamento da água na superfície do solo observados no sistema PC, dada a sua baixa cobertura do solo, indicam que esse sistema se apresentou mais propenso ao escoamento superficial em detrimento da infiltração de água.

A água que não infiltra no solo conseqüentemente atua com mais intensidade nos processos erosivos, gerando perdas de solos irreversíveis, dado que o solo não é um bem renovável em escala de tempo inferior a milhões de anos (Kämpf & Curi, 2012). Além de sofrer perdas irreversíveis relacionadas erosão hídrica, solos com limitada capacidade de infiltração de água deixam de promover a recarga hídrica do solo, fundamental para a oferta de água às necessidades humanas, e a erosão provoca assoreamento dos mananciais hídricos. Práticas de manejo que favoreçam a infiltração de água no solo são de extrema importância, especialmente em formas de uso e ocupação mais propensas à degradação como as pastagens.

3.4. Atributos químicos do solo

As análises de atributos químicos do solo nas profundidades de 0-10 e 10-30 cm e as médias das duas profundidades encontram-se na Tabela 6. Considerando as duas profundidades, apenas o teor de Ca^{2+} , acidez trocável (Al^{3+}) e acidez potencial (H+Al) apresentaram diferença entre os sistemas de manejo ($p < 0,05$), o que levou as diferenças em SB e m (Tabela 6). O teor de Ca^{2+} em PRA foi maior ($p < 0,05$) do que em PC indicando uma possível influência da prática de manejo adotada. O teor de Ca^{+2} foi considerado baixo em PRA (0,84 $\text{cmol}_c / \text{dm}^3$) e muito baixo em PC (0,12 $\text{cmol}_c / \text{dm}^3$; ALVAREZ et al., 1999),

Na profundidade de 0-10 cm (Tabela 6), a soma de bases (SB) e a saturação por bases (V%) foram maiores ($P < 0,0\%$) em PRA. De acordo com Alvarez et al. (1999), a SB foi considerada baixa em PRA e muito baixa em PC e a saturação por bases (V%) foi considerada muito baixa em ambos os sistemas, reflexo da concentração de bases e acidez trocável (Lopes e Guilherme. 2007).

A acidez trocável (Al^{3+}) foi considerada média em PRA (0,74) e alta em PC (1,97 $\text{cmol}_c / \text{dm}^3$); a acidez potencial (H+Al), mesmo menor em PRA ($p < 0,05$), foi considerada alta assim como em PC; e a saturação por alumínio (m) foi menor ($p < 0,05$) em PRA na profundidade de 0 a 10 cm e classificada como média em PRA e muito alta em PC (Alvarez et al., 1999).

Tabela 6 – Atributos químicos do solo de pastagem sob Pastoreio Rotacionado Agroecológico (PRA) e Pestejo Contínuo (PC), em duas profundidades (0-10 e 10-30 cm). Divino, Minas Gerais.

	manejo	Profundidade		Classificação	
		0-10 cm	0-30 cm		
pH	PRA	4,93	Aa	5,04 Aa	Acidez elevada
	PC	4,74	Aa	4,40 Ab	Acidez elevada
P	PRA	0,64	Aa	0,50 Aa	Muito baixo
	PC	1,21	Aa	1,01 Aa	Muito baixo
K	PRA	36,43	Aa	19,14 Ab	Baixo
	PC	19,86	Aa	26,57 Aa	Baixo
Ca ²⁺	PRA	0,84	Aa	0,56 Aa	Baixo
	PC	0,12	Ba	0,11 Ba	Muito baixo
Mg ²⁺	PRA	0,30	Aa	0,23 Aa	Baixo
	PC	0,03	Ab	0,10 Aa	Muito baixo
Al ³⁺	PRA	0,74	Bb	1,00 Ba	Média
	PC	1,97	Aa	1,92 Aa	Alta
H+Al	PRA	6,03	Ba	6,11 Ba	Alta
	PC	7,71	Aa	8,10 Aa	Alta
SB	PRA	1,23	Aa	0,84 Aa	Baixo
	PC	0,20	Ba	0,28 Aa	Muito Baixo
t	PRA	1,97	Aa	1,85 Aa	Baixo
	PC	2,17	Aa	2,19 Aa	Baixo
T	PRA	7,26	Aa	6,96 Aa	Médio
	PC	7,91	Aa	8,35 Aa	Médio
V	PRA	16,91	Aa	11,66 Aa	Muito baixo
	PC	2,40	Ba	3,31 Aa	Muito baixo
m	PRA	41,80	Bb	56,23 Aa	Médio
	PC	90,57	Aa	87,06 Aa	Muito alto

P: fósforo (mg/dm³); K: potássio (mg/dm³); Ca: cálcio (cmol_c/dm³); Mg: magnésio (cmol_c/dm³); Al³⁺: acidez trocável (cmol_c/dm³); H+Al: acidez potencial (cmol_c/dm³); SB: soma de bases (cmol_c/dm³); t: CTC efetiva (cmol_c/dm³); T: CTC a pH 7 (cmol_c/dm³); V: saturação por bases (%); m: saturação por alumínio (%).

Letras maiúsculas indicam diferenças significativas entre as linhas e minúsculas diferenças significativas entre as colunas pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade

Em geral os indicadores relacionados a acidez do solo (pH, acidez trocável e potencial) são considerados elevados em ambas as áreas estudadas. Contudo, em PRA observou-se menor acidez trocável ($p < 0,05$), o que pode estar relacionado à maior atividade da matéria orgânica, não avaliada nesse estudo. O maior acúmulo de biomassa forrageira (Capítulo 2) indica uma maior atividade do sistema radicular, gerando maior ciclagem de matéria orgânica do solo.

O efeito observado sobre a acidez trocável pode estar relacionado a complexificação de Al^{+3} pela matéria orgânica do solo, responsável por formar ligações altamente estáveis. Por ser trivalente e possuir raio iônico reduzido, o Al^{+3} possui muita afinidade (é o segundo íon metálico com maior afinidade, o primeiro é o ferro) na formação de quelatos com a matéria orgânica (Silva & Sá Mendonça, 2007). A redução da acidez trocável também se dá pela precipitação de Al^{+3} na forma de hidróxido de alumínio ($Al(OH)_3$), influenciada pela elevação dos níveis de pH do solo (Souza et al., 2007).

Ainda, na decomposição da matéria orgânica são liberados compostos orgânicos hidrossolúveis de grande importância para o manejo de agroecossistemas, pois promovem alterações significativas sobre o pH, Al trocável, H+Al e saturação por bases do solo (Diehl et al., 2008). A ação dos ligantes orgânicos atua na redução do teor de Al trocável (Ciotta et al., 2004), de modo que a maior ou menor estabilidade dos complexos do alumínio está relacionada a constante de estabilidade relacionada aos diferentes ácidos orgânicos presentes nas reações de complexificação (Miyazawa et al., 2000). Portanto, a adoção de práticas que potencializem a ciclagem e a manutenção da matéria orgânica do solo, como o PRA, são de grande importância em alterações químicas do solo capazes de promover a manutenção e recuperação das pastagens.

4. CONCLUSÕES

Mesmo com pouco tempo de implantação, o pastoreio rotacionado agroecológico (PRA) apresentou melhorou as propriedades físicas do solo, como maior condutividade hidráulica insaturada e infiltração acumulada e menores médias de resistência mecânica a penetração na profundidade de 0 a 10 cm do solo. Como não houve diferenças proeminentes na porosidade do solo, a maior condutividade hidráulica insaturada e infiltração acumulada devem estar relacionadas à qualidade e arranjo estrutural do solo, consequência, certamente, da maior atividade das raízes e da presença das árvores em PRA, que devem ser melhores estudadas em pesquisas futuras.

Poucas diferenças foram observadas em relação aos atributos químicos do solo, apesar do diferente histórico de uso das áreas. A menor acidez do solo, em especial a acidez trocável, menor no sistema PRA, está provavelmente relacionada à decomposição e a maior ciclagem de matéria orgânica proporcionada tanto pelas próprias plantas forrageiras como pelas árvores presentes no sistema.

Compreender melhor os atributos físicos e químicos do solo e a relação deste com a ciclagem de nutrientes e a dinâmica da água nas pastagens em diferentes épocas do ano é importante para reduzir os processos de degradação e recuperar as pastagens. Para isto, o monitoramento dos impactos do manejo rotacionado agroecológico nos atributos físicos e químicos ao longo do tempo deve ser realizado. Além disto é preciso incorporar no monitoramento dos atributos biológicos do solo, pois os organismos exercem funções importantes no solo e necessárias para a manutenção e ou recuperação das pastagens. Para a recuperação das pastagens, a busca por práticas que favoreçam a conservação dos solos, da água e da biodiversidade é imprescindível.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGASSI, M.; MORIN, J.; SHAINBERG, I. Effect of raindrop impact energy and water salinity on infiltration rates of sodic soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.49, p.186-190. 1985.

ALVAREZ V.; V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C., GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação**. Viçosa, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359p.

ALVES, M. C.; CABEDA, M. S. V. Infiltração de água em um Podzólico Vermelho-Escuro sob dois métodos de preparo, usando chuva simulada com duas intensidades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 753-761, 1999.

ANDRADE, R. S.; STONE, L. F.; GODOY, S. G. de. Estimativa da resistência do solo à penetração baseada no índice S e no estresse efetivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 932-937, 2013.

ARAÚJO, E. A., KER, J. C., NEVES, J. C. L., & LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187-206, 2012.

ARSHAD, M.A., LOWERY, B. AND GROSSMAN. B.. Physical Tests for Monitoring Soil Quality. In: Doran, J.W. and Jones, A.J., Eds., *Methods for Assessing Soil Quality*, Soil Science Society of America Special Publication 49, SSSA, Madison, WI, 123-142. 1996.

BERTOL, I.; GOMES, K. E.; DENARDIN, R. B. N.; MACHADO, A. Z.; MARASCHIN, G. E. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem numa pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 5, p. 779- 786, 1998.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J.A. de; ALMEIDA, E.X. de; KURTZ, C. Propriedades físicas do solo relacionadas a diferentes níveis de oferta de forragem capim-elefante-anão cv. Mott. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1047-1054, 2000.

BERTOL, I.; MELLO, E. L.; GUADAGNIN, J. C.; ZAPAROLLI, A. L. V.; CARRAFA, M. R. Nutrients losses by water erosion. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 581-586, 2003.

BROOM D. M., GALINDO F. A., MURGUEITIO E. Sustainable, efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. **Proceedings of the Royal Society**, B 280: 20132025. 2013.

CABRAL, C. E. A., CABRAL, C. H. A., SANTOS, A. R. M., MOTTA, A. M., & MOTA, L. G. Impactos técnico-econômicos da adubação de pastos. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 173-181, 2021.

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

CARMO, D. L. D., NANNETTI, D. C., DIAS JÚNIOR, M. D. S., ESPÍRITO SANTO, D. J. D., NANNETTI, A. N., LACERDA, T. M. Propriedades físicas de um latossolo vermelho-amarelo cultivado com cafeeiro em três sistemas de manejo no sul de minas gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 991-998, 2011.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.39, n.11, p.1153-1155, 2004.

CARVALHO, A. F. de. Água e radiação em Sistemas Agroflorestais com café, no território da Serra do Brigadeiro – MG. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2011.

CARVALHO, M., RAMOS, A., BRAGA, G., da FONSECA, C. E. L., FERNANDES, F. Diversificação de pastagens: alternativa simples e de baixo custo para a intensificação dos sistemas de produção pecuário. Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico, 188. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021.

CASSOL, L. C. Relações solo-planta-animal num sistema de integração lavoura-pecuária em semeadura direta com calcário na superfície. 2003. Tese (Doutorado em Agronomia: Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CINTRA, F. L. D. **Disponibilidade de água no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 1997. 90p. (Tese de Doutorado)

CIOTTA, M. N., BAYER, C., ERNANI, P. R., FONTOURA, S. M. V., WOBETO, C., ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolo Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 317-326, 2004.

CLOTHIER, B.E. 2008. Soil pores. p. 693–699. In W. Chesworth (ed.) **Encyclopedia of soil science**. Springer, Dordrecht, Th e Netherlands.

COSTA, M. A. T., TORMENA, C. A., LUGÃO, S. M. B., FIDALSKI, J., NASCIMENTO, W. G. D., MEDEIROS, F. M. D.. 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, 2012.

DA SILVA, A. G., DE ASSIS, R. L., DE OLIVEIRA, C. A. A., FERREIRA, C. J. B., TEIXEIRA, I. R., ALMEIDA, K. D. L., & DO CARMO, E. L. Variabilidade dos atributos físicos do solo e dinâmica da palhada em sistema integração lavoura-pecuária no cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 18, n. 3, p. 429-440, 2019.

DECAGON DEVICES. (2005). Mini disk infiltrometer user's manual version 1.4, Pullman, WA.

DIAS-FILHO, M. B. Desafios da produção animal em pastagens na fronteira agrícola brasileira / Moacyr Bernardino Dias-Filho. – Belém, PA : Embrapa Amazônia Oriental, 2012. 34 p.; 21 cm x 14,8 cm. – (Documentos / Embrapa Amazônia Oriental; ISSN 1983-0513; 382).

DIEHL, R. C., MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, Hi. W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2653-2659, 2008.

DONAGEMMA, G. K., de CAMPOS, D. V. B., CALDERANO, S. B., TEIXEIRA, W. G., & VIANA, J. H. Manual de métodos de análise de solos. 2. ed. rev. Rio de Janeiro, RJ: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Embrapa Solos. Documentos, 132).

FAZOLIN, M.; SANTOS, R. S.; ANDRADE, C. M. S. de; ASSIS, G. M. L. de; VALENTIN, J. F. Cigarrinhas-das-pastagens: como identificar e controlar a principal praga das pastagens. Rio Branco: Embrapa Acre (Folder), 2016. 6p.

FETTER, C. W.; BOVING, T. B.; KREAMER, D. K. **Contaminant hydrogeology**. Upper Saddle River, NJ: Prentice hall, 1999.

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. 08-25, 2017.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica: período 2019/2020, relatório técnico. São Paulo: Fundação SOS Mata Atlântica, 2021. 73p.

GLIŃSKI, J.; LIPIEC, J.; STĘPNIEWSKI, W. *Plant Roots and Soil Physical Factors*; Chesworth, W., Ed.; **Encyclopedia of Soil Science**; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008

GONÇALVES, A. D. M. D. A., & LIBARDI, P. L. Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1174-1184, 2013.

GRABLE, A.R.; SIEMER, E.G. Effects of bulk density, aggregate size, and soil water suction on oxygen diffusion, redox potentials and elongation of corn roots. **Soil Science Society of America Journal**, v.32, p.180-186, 1968.

GREGORICH, E. G., & CARTER, M. R. (Eds.). **Soil quality for crop production and ecosystem health**. Elsevier, 1997

HILLEL, D. **Soil water: Physical principles and processes**. New York, Academic Press, 1971. 288p.

HUANG, Z., TIAN, F.P., WU, G.L., LIU, Y., DANG, Z.Q. Legume grasslands are in favour of promoting precipitation infiltration than gramineous grasslands in the arid regions: legume grasslands promoting precipitation infiltration. **Land Degradation Development** (28), 309–316. 2017.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; TORMENA, C. A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 7, p. 1493-1500. 2000.

KAMPF, N.; CURI, N. Formação e Evolução do Solo: Pedogênese. In: KER, J.C. et al. (eds.). **Pedologia: Fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. v. 1, cap. 7, p.207-302.

KARLEN, D. L., MAUSBACH, M. J., DORAN, J. W., CLINE, R. G., HARRIS, R. F., & SCHUMAN, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, 61(1), 4-10.

KIRKHAM, M.B. Chapter 13 - Infiltration, Editor(s): M.B. Kirkham, Principles of Soil and Plant Water Relations (Second Edition), **Academic Press**, 2014, Pages 201-227

JAKELAITIS, A., DA SILVA, A. A., DOS SANTOS, J. B., & VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 2, p. 118-127, 2008.

LAL, R. Role of mulching techniques in tropical soil and water management. Ibadan: International Institute of Tropical Agriculture, 1974. 37p. **Technical Bulletin**, n. 1.

LAPIG - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (2020) Atlas Digital das Pastagens Brasileiras. Universidade Federal de Goiás. Disponível em: <<https://atlasdaspastagens.ufg.br/map>>. Acesso em: 14 de outubro de 2022.

LEME T. M. S. P., PIRES M. F. A., VERNEQUE R. S. V., ALVIM M. J., AROEIRA L. J. M. Comportamento de vacas mestiças Holandês x Zebu, em pastagem de Brachiaria decumbens em sistema silvipastoril. **Ciência e Agrotecnologia** 2005; 29(3): 668-675.

LOPES, A.; GUILHERME, L. R. G. Fertilidade do solo e produtividade agrícola. Fertilidade do solo, p. 1-12, 2007.

MACEDO, M. C. M., ARAUJO, A. R. de. Sistemas de produção em integração: alternativa para recuperação de pastagens degradadas (Cap 20), In: BUNGENSTAB, D. J.; ALMEIDA, R. G. de; LAURA, V. A.; BALBINO, L. C.; FERREIRA, A. D. (Ed.). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 835 p.

MANJOLIN, R. C., GREGO, C. R., NOGUEIRA, S. F., BARIONI, L. G., BAYMA, G., SANTOS, P. M., PEZZOPANE, J. R. M. Variabilidade espacial da disponibilidade de forragem em sistemas de pastejo nas estações chuvosa e seca. **Resumos Expandidos**, p. 119: il, 2018.

MARQUES, J. E.; DUARTE, J. M.; CONSTANTINO, A. T.; AGUIAR, C.; ROCHA, F. T.; MARQUES, J. M.; SAMPER, J.; BORGES, F. S.; CARVALHO, J. M.; CHAMINÉ, H. I. Avaliação *in situ* da condutividade hidráulica de solos de montanha: un caso de estudo na Serra

da Estrela (Centro de Portugal). **Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe**, Coruña. Vol. 34, pp. 143 – 164, 2009.

MATIAS, S. S. R., BORBA, J. A., TICELLI, M., PANOSSO, A. R., da CAMARA, F. T. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes usos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 3, p. 331-338, 2009.

MENDONÇA, L. A. R.; VÁSQUEZ, M. A. N.; FEITOSA, J. V.; OLIVEIRA, J. F.; FRANCA, R. M.; VÁSQUEZ, E. M. F.; FRISCHKORN, H. Evaluation of the infiltration capacity of soils under different types of management. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 14, p. 89-98, 2009.

MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H.; ELLIOTT, E. T. Microclimate and nutrient dynamic in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. **Agroforestry systems**, Dordrecht, v. 56, n. 1, p. 27-38, 2002.

MIYAZAWA, M., PAVAN, M. A., FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. 2000. (Encarte Técnico Informações Agronômicas, 92)

MONTEIRO, A.F.; WERNER, C.J. Ciclagem de nutrientes minerais em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE ECOSSISTEMA DE PASTAGENS, 1989, Jaboticabal. Anais... Jaboticabal: FUNEP, 1989. p.149-192.

MOREIRA, J. A. A., DE OLIVEIRA, I. P., 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, n. 3, p. 155-161, 2005.

MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., DA FONSECA, G. A. B. & KENT, J. 2000. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature** 403: 853-858.

NAIR, V. D.; NAIR, P. K. R.; KALMBACHER, R. S.; EZENWA, I. V. Reducing nutrient loss from farms through silvopastoral practices in coarse-textured soils of Florida, USA. **Ecological Engineering**, Volume 29, Issue 2, Pages 192-199, February 2007.

ORTIGARA, C., KOPPE, E., LUZ, F. B. D., BERTOLLO, A. M., KAISER, D. R., SILVA, V. R. D. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 619-626, 2014.

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**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 261-268, 2006.

PAULETTO, E.A.; LIBARDI, P.L.; MANFRON, P.A. & MORAES, S.O. Determinação da condutividade hidráulica a partir da curva de retenção de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 12:189-195, 1988.

PEDREIRA, B. C., DIAS-FILHO, M. B., ANDRADE, C. M. S., RIBEIRO, L. F. C., PEREIRA, D. H., PINA, D. S., FELIPE, F. L. (2014). Síndrome da morte do Braquiarão em Mato Grosso. In: B. C. PEDREIRA, D. H. PEREIRA, D. S. PINA, R. A. CARNEVALLI & L. B. LOPES (Eds.), Simpósio de Pecuária Integrada (pp. 217–237). SinopMT: Embrapa. 2014.

PERON, A. J., EVANGELISTA, A. R. Degradação de pastagens em regiões de cerrado. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, p. 655-661, 2004.

PORTUGAL, A. F., COSTA, O. D. A. V., COSTA, L. M. D. 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.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; SANTOS, W. L.; RODRIGUES, L. N.; ANTUNES, V. L. **Infiltração de água no solo**. 26 p. 1997 (Caderno Didático, 25).

RALISCH, R.; MIRANDA, T. M.; OKUMURA, R. S.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F. SCOPEL, E.; BALBINO, L. C. Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho Amarelo do Cerrado sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 12, n.4, p. 381–384, 2008.

RAZUK, Renata Barbosa. **Avaliação do sistema radicular de acessos de Brachiaria brizantha e suas relações com atributos químicos e físicos do solo**. 2002. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência & Ambiente**, v.27, p.29-48, 2003.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.

RICHART, A., TAVARES FILHO, J., BRITO, O. R., LLANILLO, R. F., ERREIRA, R. Compactação do solo: causas e efeitos. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 321-343, 2005.

ROCHA JUNIOR, P. R.; ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; DONAGEMMA, G. K.; FERNANDES, R. B. A.; BHATTARAI, R.; KALITA, P. K. (a) Soil, water, and nutrient losses from management alternatives for degraded pasture in Brazilian Atlantic Rainforest biome. **Science of The Total Environment**, v. 583, p. 53-63, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.12.187

RODRIGUES, D. C. **Produção de forragem de cultivares de Brachiaria brizantha (Hochst. ex A. Rich.) Stapf e modelagem de respostas produtivas em função de variáveis climáticas**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVA, I.R.; SÁ MENDONÇA, E. 2007. Matéria orgânica do solo. In: Novais, R.F.; Alvarez, V.H.; Barros, N.F.; Fontes, R.L.F.; Cantarutti, R.B.; Neves, J.C., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, A. P.; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the least limiting water range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 58, p. 1775-1781, 1994.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, J. M.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em Cambissolo e Latossolo sob chuva natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, 2005.

SILVA, S., FERRARI, J. L. Descrição botânica, distribuição geográfica e potencialidades de uso da Brachiaria brizantha (Hochst. ex. A. Rich) Stapf. **Enciclopedia Biosfera**, 8(14). 2012.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F de.; AUGUSTO, J.; SACRAMENTO, J. A. A. S do.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. p.59667, 2010.

SLONEKER, L.L. & MOLDENHAUER, W.C. Measuring the amounts of crop residue remaining after tillage. *J. Soil Water Conserv.*, 32:231-236, 1977.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N. & OLIVEIRA, A.S. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.205-274.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.

TEIXEIRA NETO, J. F.; SIMÃO NETO, M.; COUTO, W. S.; DIAS FILHO, M. B.; SILVA, A. de B.; DUARTE, M. de L. R.; ALBUQUERQUE, F. C. de. Prováveis causas da morte do capim-braquiara (Brachiaria brizantha cv. Marandu) na Amazônia Oriental: relatório técnico. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 20 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 36).

TRUJILLO, W.; FISCHER, M.J. & LAL, R. Roots dynamics of native savanna and introduced pastures in the Eastern Plains of Colombia. **Soil Tillage, Res.**, 87:28-38, 2006.

VALLEJO, V. E., ARBELI, Z., TERÁN, W.; LORENZ, N., DICK, R. P., ROLDAN, F. Effect of land management and Prosopis juliflora (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. Volume 150, Pages 139-148. 15 March 2012.

VALÉRIO, J. R.; SOUZA, O. C.; VIEIRA, J. M.; CORREA, E. S. Diagnóstico de morte de pastagens nas regiões central e norte do estado de Mato Grosso. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000. 10 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, 98)

VANDERMEULEN, S., RAMÍREZ-RESTREPO, C. A., BECKERS, Y., CLAESSENS, H., & BINDELLE, J. Agroforestry for ruminants: a review of trees and shrubs as fodder in silvopastoral temperate and tropical production systems. **Animal Production Science**, 58(5), 767. 2018.

VZZOTTO, V., Rogério; M., Enio; SEGABINAZZI, T. Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea. **Ciência Rural**, v. 30, p. 965-969, 2000.

WEBER, O. L. D. S., CHITOLINA, J. C., CAMARGO, O. A. D., & ALLEONI, L. R. F. Cargas elétricas estruturais e variáveis de solos tropicais altamente intemperizados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 867-873, 2005.

WU, G., ZHENG Y.G., ZENG C., YU L., NU-FANG F., ZHI-HUA S. "Mixed artificial grasslands with more roots improved mine soil infiltration capacity." **Journal of Hydrology** 535 (2016): 54-60.

ZANELLI, F., CARDOSO, I., SILVA, L., MIRANDA, E., SILVA, B., COSTA, L. Intercâmbios agroecológicos: processos educativos impulsionando a agroecologia. **Pesquisa e Extensão para a Agricultura Familiar no âmbito da Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural**. 1aed. Brasília: Gráfica Editora Ideal, v. 1, p. 355-363, 2015.

ZHANG, Renduo. Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 4, p. 1024-1030, 1997.

ZIMMER, A. H., MACEDO, M. C. M., KICHEL, A. N., ALMEIDA, R. G. de. Degradação, recuperação e renovação de pastagens. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2012. 46 p. Acesso: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/951322>

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Experimentação participativa com cinco famílias do município de Divino (MG) foi realizada com o objetivo de implementar e avaliar o efeito do pastoreio rotacionado agroecológico (PRA), com a presença de árvores, na produtividade e qualidade nutricional das pastagens e dos solos. A experimentação participativa permitiu a elaboração da proposta, planejamento e implementação das atividades e levou em consideração às necessidades e prioridades de cada família e propriedade e as condições ambientais de cada local. A grande variabilidade de feições topográficas, apesar de um desafio, possibilitou um rico processo de aprendizado. A utilização das imagens de satélite de forma individual e coletiva se mostrou como uma técnica eficiente para abordagens participativas, principalmente quando associadas a outras, como as caminhadas transversais de reconhecimento, oficinas e reuniões de planejamento.

Em uma das propriedades estudos da vegetação e solo foram realizados após a implementação do PRA. Mesmo em um período reduzido de avaliações (entre 10 e 18 meses após a implantação), a pastagem em PRA apresentou melhor desenvolvimento em relação ao pastejo contínuo (PC). Em PRA a altura média do dossel forrageiro, a produção de matéria seca (MS) e de proteína bruta (PB) total por hectare foram maiores em todas as estações avaliadas. A maior oferta de forragem permite maior eficiência do pastejo, menor movimentação dos animais na busca por alimento e menor pisoteio, o que favorece a conservação do solo. Em PRA, o teor de matéria seca e o teor de proteína bruta (%MS) da forragem foram menores. Entre o verão e a primavera, o teor de PB e o teor de MS apresentaram aumento percentual em ambos os sistemas avaliados. No mesmo período, a produtividade de matéria seca e a altura do dossel diminuíram, chegando aos menores valores no início da primavera. A redução da produtividade de MS ao longo das estações é natural em função das condições climáticas, dado que os menores valores, observados no início da primavera, sucedem ao inverno, mais frio e seco.

A composição morfológica das plantas forrageiras apresentou diferenças significativas entre os sistemas de manejo e entre as estações avaliadas. Em PRA, houve maior proporção de folhas e colmo em todas as estações, menor proporção de material senescente e menor ocorrência de outras espécies e inflorescências. As folhas e colmo são componentes vivos da forragem importantes na recomposição da estrutura do dossel após o pastejo. As folhas ainda

representam a estrutura com maior valor nutritivo e, portanto, de maior interesse na criação a pasto. A alta ocorrência de outras espécies em PC indica maior exposição de solo observada em campo, aspecto esse que favorece a erosão do solo.

Entre o verão e a primavera, observou-se em ambos os sistemas uma redução na proporção de folhas e colmo, assim como aumento na proporção de material senescente. A redução na composição morfológica, na produção e qualidade nutricional das pastagens, reforça a necessidade de se cuidar melhor das pastagens durante o inverno e planejar a oferta de volumosos na estação seca utilizando estratégias como a produção de silagem e cultivo de capineiras.

Apesar do curto período de avaliações, em torno de 18 meses, o sistema PRA foi capaz de aumentar a produtividade de forragem em relação ao sistema PC. Contudo, ajustes são necessários, principalmente, para melhorar o valor nutricional da pastagem. Tais ajustes, em PRA, dizem respeito principalmente aos períodos de ocupação e repouso, que devem ser otimizados de acordo com a altura e estrutura do dossel forrageiro para se evitar perdas de qualidade. Preferencialmente toda a pastagem deveria ser conduzida de forma rotacionada, mas caso não seja possível, no sistema PC, os ajustes nas taxas de lotação devem ser revistos, preferencialmente com aplicação da lotação variável, oferecendo maiores chances de recuperação da pastagem que apresentou baixíssimos valores de produtividade de matéria seca e proteína bruta total, assim como ocorrência de solo exposto.

Ao se avaliar as propriedades físicas do solo, em PRA nas camadas mais superficiais, de 0 a 10 cm a resistência mecânica do solo foi menor, nos testes de campo e nas amostras de 0 a 5 cm de profundidade. Quando considerado até 60 cm, a resistência mecânica do solo foi maior em PRA. A condutividade hidráulica insaturada e a infiltração acumulada foram maiores em PRA em todas as estações e, em associação aos parâmetros físicos obtidos nas camadas mais superficiais, indicam uma melhor qualidade e arranjo estrutural do solo nesse sistema, muito provavelmente em função da maior atividade das raízes das plantas forrageiras, assim como da presença das árvores no sistema.

Quanto aos atributos químicos do solo, as diferenças foram principalmente nos atributos relacionados à acidez do solo, que foram qualitativamente melhores em PRA. Os processos relacionados à decomposição matéria orgânica e sua ciclagem, devido a maior produção de

biomassa forrageira e a presença de árvores em PRA, são provavelmente os principais responsáveis pela menor acidez.

Estudos que combinem a influência do pastoreio rotacionado e das árvores na pastagem devem ser incentivados e incluir. Nestes estudos, além dos parâmetros de produtividade e qualidade nutricional da foragem, dos atributos físicos e químicos do solo, devem incluir também os atributos biológicos do solo, pois estes exercem importantes funções no solo e são indicadores importantes de conservação e recuperação de pastagens. O efeito do componente arbóreo deve também ser incluído nos estudos, pois as árvores são extremamente importantes e comumente presentes em pastagens agroecológicas, mas o efeito delas nas pastagens não foi aprofundado no presente estudo.

O pastoreio rotacionado e arborização das pastagens devem ser incentivados, contudo, tecnologias para a implantação requerem investimentos nem sempre acessíveis aos agricultores e, por isto, políticas públicas são necessárias para favorecer manejo adequado e a recuperação das extensas áreas de pastagens degradadas. Para uma melhor avaliação do efeito do PRA sobre as condições ambientais das pastagens, um processo continuado de monitoramento deve ser realizado. A pesquisa aqui apresentada constitui a base deste monitoramento.