

ADRIEL SALES COUTINHO

**ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SUBMETIDO AO SISTEMA DE
PASTEJO ROTACIONADO DE BOVINOS DE LEITE**

RECIFE – PE

2021

ADRIEL SALES COUTINHO

**ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SUBMETIDO AO SISTEMA DE
PASTEJO ROTACIONADO DE BOVINOS DE LEITE**

Orientador: Prof. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PGEA) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) com a finalidade de cumprir a exigência para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

RECIFE – PE

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

C871a

COUTINHO, ADRIEL SALES
ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SUBMETIDO AO SISTEMA DE PASTEJO
ROTACIONADO DE BOVINOS DE LEITE / ADRIEL SALES COUTINHO. - 2021.
43 f. : il.

Orientador: GLEDSON LUIZ PONTES DE ALMEIDA.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, 2022.

1. bovinocultura. 2. compactação. 3. qualidade física do solo. I. ALMEIDA, GLEDSON LUIZ PONTES DE, orient.
II. Título

CDD 630

ADRIEL SALES COUTINHO

**ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SUBMETIDO AO SISTEMA DE
PASTEJO ROTACIONADO DE BOVINOS DE LEITE**

Dissertação defendida aprovada em: 30/06/2021.

Orientador:

Prof. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Examinadores:

Prof. Dr. Albert Einstein Spíndola Saraiva de Moura
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

Prof. Dr. Héilton Pandorfi
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Dr. Renato Paiva de Melo
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

*“Ele muda as épocas e as estações;
destrona reis e os estabelece.
Dá sabedoria aos sábios
e conhecimento aos que
sabem discernir.”*

Livro de Daniel 2.22

*“Se és capaz de, entre a plebe, não te corromperes,
e, entre Reis, não perder a naturalidade.
E de amigos, quer bons, quer maus, te defenderes,
se a todos podes ser de alguma utilidade.*

*Se és capaz de dar, segundo por segundo,
ao minuto fatal todo valor e brilho.
Tua é a Terra com tudo o que existe no mundo,
e - o que ainda é muito mais - és um Homem, meu filho”.*

Rudyard Kipling

DEDICATÓRIA

Eu dedico esse trabalho aos meus pais Adriano e Jaqueline pelo incentivo e inspiração que me fizeram chegar até aqui;

À minha esposa Geryticia, pelo incentivo e compreensão em todas as coisas.

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer à Deus pelo dom da vida e por ter me dado a graça necessária para chegar até aqui.

Agradeço a meus pais, Adriano Coutinho e Jaqueline Sales, por todo o investimento, preocupação, amor, educação e exemplo que me deram até hoje.

A minha esposa Geryticia Santos que tem sido a musa inspiradora da minha vida.

A toda minha família (*In memoriam*: minhas avós Maria de Lourdes Coutinho e Ednalda Sales, a minha sogra Simone por todo o cuidado, aos meus irmãos Adriano e Adriele que têm sido meus companheiros por toda a vida e primos que trazem alegria para o meu dia-a-dia).

Meus sinceros agradecimentos a Universidade Federal Rural de Pernambuco, ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola-UFRPE, ao professor Ênio Farias de França e Silva e a todos os professores e alunos do programa, pela oportunidade e conhecimentos adquiridos.

Aos Professores Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida e Dr. Héilton Pandorfi pela confiança, paciência, orientações e ensinamentos, que sempre contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço especialmente aos colaboradores Dr. Renato Paiva de Lima, Me. Marco Antonio Silva, Me. Thayná Alice Brito Almeida e à graduanda em Engenharia Agrícola Maria Vitória por todos os ensinamentos e contribuições.

A todos os integrantes do GPESA (Grupo de Pesquisa em Ambiente), agradeço o acolhimento, as orientações e todos os momentos de trabalho e diversão.

A Marco Antonio Silva e Pedro Henrique Dias Batista, por todo o auxílio e companheirismo no decorrer do mestrado.

A todos os funcionários da Fazenda Experimental da UFRPE (Garanhuns), pela receptividade e auxílio.

A Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de estudos para a realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABELAS	II
RESUMO	III
ABSTRACT	IV
INTRODUÇÃO	1
HIPÓTESES	2
OBJETIVOS	2
Geral	2
Específicos	2
1.0 REVISÃO DE LITERATURA	3
1.1 Propriedades físicas do solo	3
1.2 Pastagens	4
1.3 Manejo de pastagens.....	5
1.4 Influência da disponibilidade de nutrientes no crescimento de raízes	6
1.5 Recuperação de pastagem	7
2.0 MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1 Área de Estudo	8
2.2 Manejo da Área Experimental.....	10
2.3 Amostragem de Solo e Determinação das Propriedades físicas do solo.....	11
2.4 Análise Estatística.....	16
3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.0 CONCLUSÕES.....	24
5.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
6.0 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.....	8
Figura 2. Precipitação pluviométrica no período da pesquisa.....	9
Figura 3. Croqui da área da área de pastagem e controle utilizados na pesquisa.	10
Figura 4. Ciclo de pastejo e períodos de amostragem de solos.....	11
Figura 5. Amostras preparadas para realização dos ensaios de laboratório (A) e na mesa de tensão (B) 12	
Figura 6. Penetrômetro de bancada.....	13
Figura 7. Variação da densidade do solo (DS) em relação ao período de amostragem.....	18
Figura 8. Variação da resistência à penetração do solo (RP) em relação ao período de amostragem... ..	19
Figura 9. Variação da porosidade total do solo (ϕ) em relação ao período de amostragem.....	20
Figura 10. Variação quantitativa da macroporosidade do solo (A) e da microporosidade do solo (B) em relação ao período de amostragem.....	21
Figura 11. Dispersão dos scores das variáveis canônicas (Can1 e Can2) em relação ao período de amostragem.. ..	22

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Adubação de cobertura realizada nas áreas de pasto e controle antes no início da pesquisa... 11
- Tabela 2.** Valores médios e desvio padrão dos atributos físicos do solo analisados ao longo do período de estudo no pastejo rotacionado e na área de controle. 17

ALTERAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO SUBMETIDO AO SISTEMA DE PASTEJO ROTACIONADO DE BOVINOS DE LEITE

RESUMO: A compactação do solo é o resultado de uma deformação plástica que advém das tensões externas, caracterizada pela diminuição da porosidade total e aumento da densidade do solo. Uma das principais causas da compactação do solo é o pisoteio animal. O monitoramento da qualidade do solo pelos atributos físicos permite avaliar a sustentabilidade dos sistemas produtivos. Objetivou-se com essa pesquisa analisar a compactação do solo sob pisoteio de bovinos de leite em pastejo rotacionado, por meio da quantificação dos seus atributos físicos no decorrer dos ciclos de pastejo. O estudo foi conduzido no Município de Garanhuns, Pernambuco. O solo do local é um Argissolo Amarelo. A pesquisa foi realizada sob pastagem de capim *Brachiária decumbens*, em uma área dividida em 2 (dois) piquetes de 50 × 50 m², correspondentes ao pastejo de bovinos de leite e o controle. Foram utilizados 4 animais mestiços Holandês-Zebu, com lotação de 3,2 UA ha⁻¹. As amostras indeformadas de solo foram coletadas na profundidade de 0,00-0,05 m. Em ambas as áreas foram realizadas as coletas para o registro da densidade do solo (Ds), da macroporosidade do solo (ϕ_{macro}), da microporosidade do solo (ϕ_{micro}) e da resistência à penetração do solo (RP) e da umidade volumétrica do solo (θ). Os animais foram manejados em sistema de pastejo rotacionado, com 7 dias de ocupação e 28 dias de descanso. As amostras do solo foram coletadas nos dias 0 (T0), 35 (T1), 70 (T2) e 105 (T3), totalizando três ciclos de pastejo. Foram utilizadas 8 amostras para o ensaio de RP, em que, 4 amostras foram equilibradas em 30 hPa e 4 amostras em 60 hPa. Os dados foram submetidos à análise de variância com modelos encaixados para representar as propriedades físicas do solo ao longo do tempo na área de pastejo e na área de controle. As variáveis analisadas não apresentaram diferença significativa entre o piquete sob pastejo e a área de controle. A Ds apresentou valores abaixo de 1,65 Mg m⁻³ que é o limite para solos arenosos. A RP estava acima de 2,0 MPa antes do início do experimento e a partir de T1, depois do primeiro ciclo de pastejo, a RP reduziu não mais ultrapassando o limite. A ϕ_{micro} não se alterou no decorrer do experimento, em contrapartida, houve aumento da ϕ_{macro} . O pastejo rotacionado aliado à adubação nitrogenada e alta precipitação, no início do estudo, proporcionaram redução da densidade, microporosidade e resistência à penetração do solo, bem como, aumento da macroporosidade do solo.

Palavras-chave: bovinocultura, compactação, qualidade física do solo.

PHYSICAL QUALITY OF THE SOIL SUBMITTED TO ROTTED GRAZING OF DAIRY CATTLE IN THE AGRESTE REGION OF THE STATE OF PERNAMBUCO.

ABSTRACT: Soil compaction is the result of a plastic deformation that comes from external stresses, characterized by a decrease in total porosity and an increase in soil density. One of the main causes of soil compaction is animal trampling. The monitoring of soil quality by physical attributes makes it possible to assess the sustainability of production systems. The objective of this research was to analyze the soil compaction under trampling of dairy cattle in rotational grazing, through the quantification of their physical attributes during the grazing cycles. The study was conducted in the Municipality of Garanhuns, Pernambuco. The site's soil is a Yellow Argisol. The research was carried out under *Brachiária decumbens* grass pasture, in an area divided into 2 (two) paddocks of 50 × 50 m², corresponding to the grazing of dairy cattle and the control. Four crossbred Holstein-Zebu animals were used, with a stocking of 3.2 AU ha⁻¹. Undisturbed soil samples were collected at a depth of 0.00-0.05 m. In both areas, samples were taken to record soil density (Ds), soil macroporosity (ϕ_{macro}), soil microporosity (ϕ_{micro}) and resistance to soil penetration (RP) and volumetric soil moisture (θ). The animals were managed in a rotational grazing system, with 7 days of occupation and 28 days of rest. Soil samples were collected on days 0 (T0), 35 (T1), 70 (T2) and 105 (T3), totaling three grazing cycles. 8 samples were used for the RP assay, where 4 samples were equilibrated at 30 hPa and 4 samples at 60 hPa. Data were subjected to analysis of variance with embedded models to represent soil physical properties over time in the grazing area and in the control area. The analyzed variables showed no significant difference between the paddock under grazing and the control area. The Ds presented values below 1.65 Mg m⁻³ which is the limit for sandy soils. The RP was above 2.0 MPa before the beginning of the experiment and from T1, after the first grazing cycle, the RP reduced, no longer exceeding the limit. ϕ_{micro} did not change during the experiment, on the other hand, there was an increase in ϕ_{macro} . Rotated grazing combined with nitrogen fertilization and high precipitation, at the beginning of the study, provided a reduction in density, microporosity and resistance to soil penetration, as well as an increase in soil macroporosity.

Keywords: cattle farming, compaction, physical quality of soil.

INTRODUÇÃO

No ano de 2017 os rebanhos bovinos brasileiros alcançaram um contingente de 221,8 milhões de cabeças de gado. Com esses números, o Brasil elevou-se à primeira posição do ranking mundial, com rebanhos que compõem 13,6% de toda produção mundial (ABIEC, 2018). Parte desse contingente é creditado à produção de leite, em que, o país detém a 3º posição do ranking, atrás apenas dos Estados Unidos da América e da Índia, com o quantitativo de 33,5 milhões de toneladas de leite, de acordo com o Anuário Leite 2019 (EMBRAPA, 2019).

Nesse contexto, a região Nordeste do Brasil contribuiu com 3,89 bilhões de litros de leite no ano de 2017, compondo 11,6% da produção nacional do período. O estado de Pernambuco é o segundo maior produtor de leite da região, com 20,4 % (796 milhões de litros) da produção regional no mesmo ano, ficando atrás apenas da Bahia, que contribuiu com 22,3% da produção. Vale salientar que no cenário pernambucano de produção de leite, destacam-se a Região do Vale do Ipanema e o município de Garanhuns (EMBRAPA, 2019).

Stewart et al. (2005) afirmam que a demanda por maior produção, pela pressão do mercado consumidor, evidencia a necessidade do emprego de técnicas que garantam a manutenção e conservação da pastagem e o melhor manejo dos animais. Ainda, alguns autores apontam o monitoramento da qualidade do solo por seus atributos físicos, para avaliar a sustentabilidade dos sistemas produtivos (VECCHIO et al., 2018; FERREIRA et al., 2018).

Dentre os fatores que podem influenciar o problema da degradação das pastagens estão o manejo inadequado dos animais sob pastejo (ROCHA JUNIOR & SILVA, 2013), o pisoteio animal, os fatores climáticos locais e a compactação do solo (PULIDO et al., 2018; GABBI et al., 2017). Assim, este estudo busca analisar a qualidade estrutural do solo por meio da quantificação de suas propriedades físicas.

HIPÓTESES

O pastejo rotacionado de bovinos de leite influencia negativamente na estrutura física do solo, alterando suas propriedades mecânicas no decorrer dos ciclos de pastejo.

A área submetida ao pastejo rotacionado apresentará redução de qualidade física do solo em comparação com uma área com características semelhantes e que não foi submetida ao pisoteio animal.

OBJETIVOS

Geral

Objetivou-se com essa pesquisa analisar a compactação do solo sob pisoteio de bovinos de leite em pastejo rotacionado, por meio da quantificação dos seus atributos físicos no decorrer dos ciclos de pastejo.

Específicos

- Quantificar e qualificar a densidade, a macroporosidade, a microporosidade, e a resistência à penetração do solo no decorrer dos ciclos de pastejo;
- Comparar os atributos físicos do solo na área sob pastejo rotacionado e controle.

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1 Propriedades físicas do solo

As alterações dos atributos físicos e a baixa reposição de nutrientes podem causar a degradação dos solos e o monitoramento dessas propriedades físicas, permitem avaliar a qualidade estrutural do solo e propor ações mitigadoras que garantam a manutenção dos sistemas produtivos (VECCHIO et al., 2018). Em virtude do aumento da intensidade de pastejo, pode-se inferir que mais da metade das áreas de pastagem no Brasil estão degradadas (SILVA et al., 2017) e uma preocupação à cerca da deterioração das pastagens é a perda de qualidade física do solo (BONETTI et al., 2019).

A definição agronômica de compactação é a redução do volume do solo em relação a uma mesma massa, ocasionado pela aplicação de esforço compressivo, acarretando no rearranjo das partículas do solo e redução da porosidade. Reichert et al. (2016) afirmam que a compactação reduz a produtividade biológica do solo e pode torná-lo inadequado ao crescimento das plantas.

A compactação do solo é o resultado de uma deformação plástica que advém das tensões externas, caracterizada pela diminuição da porosidade total e aumento da densidade do solo (HORN et al., 2003; KRUMMELBEIN et al., 2008; LIMA et al., 2013). Uma das principais causas da compactação do solo é o pisoteio animal (TORRES et al., 2012; KRUMMELBEIN et al., 2008).

De acordo com Reinert et al. (2008), a compactação modifica os fluxos de água e ar no solo e reduz a produtividade das culturas agrícolas. Assim, o solo compactado pode restringir o desenvolvimento das raízes das plantas (ORTIGARA et al., 2014) e reduzir a produtividade das pastagens (BONETTI et al. 2015).

Alguns atributos físicos do solo podem ser utilizados como parâmetros para avaliar a compactação do solo, dentre eles estão a densidade, a porosidade (MELO et al. 2017), a resistência à penetração (FERREIRA et al., 2018) e a infiltração da água no solo (FROLLA et al. 2018).

A densidade do solo consiste numa relação entre a massa do solo seco (105°C) e o volume total do solo (solo + água + ar). Qualquer rearranjo de partículas do solo pode afetar significativamente os valores de densidade (FERREIRA, 2010). Além disso, esse atributo do solo tem uma relação proporcionalmente inversa com os espaços porosos do solo (NASCIMENTO et al., 2017) que, por sua vez, depende da textura e da estrutura dos solos.

Reinert et al. (2008) apontam valores de $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,45 \text{ g cm}^{-3}$, como limite de densidade para solos arenoso e argilosos, respectivamente. Quanto à porosidade, Rabelo (2000) afirma que a porosidade de solos arenosos varia de 35 a 50%, enquanto, solos argilosos podem alcançar valores de 40 a 60% e valores de 60 a 80%, quando ricos em matéria orgânica.

As alterações na densidade e porosidade do solo influenciam na movimentação e armazenamento de água e ar do solo. Quando ocorre aumento dos valores de densidade, a porosidade do solo sofre redução, causando decréscimo da taxa de infiltração de água do solo e acréscimo de escoamento superficial, do volume de água oriundo das precipitações pluviométricas e dos perfis irrigados, potencializando os processos erosivos (GUIMARÃES et al., 2016).

A resistência à penetração do solo é um bom indicador de restrição ao crescimento radicular das plantas e valores superiores a 2,0 Mpa para este atributo pode ser considerado como limite crítico para o desenvolvimento das plantas (BAYAT et al., 2017; REICHERT et al., 2018). Conforme Tavares et al. (2014), quando o solo está na capacidade de campo pode-se obter melhores resultados na correlação entre a resistência a penetração e o crescimento radicular das culturas.

Segundo Costa et al. (2012) a resistência mecânica do solo à penetração sofre maior alteração, principalmente nas primeiras camadas do solo. Ainda, os mesmos autores apontam que tais alterações podem reduzir ou prolongarem-se de acordo com a umidade do solo. Cervelati et al. (2011) estudaram a influência dos diferentes sistemas de pastejo nos atributos físicos do solo e encontraram que quando os bovinos permanecem no mesmo piquete, sem tempo de descanso, há maior suscetibilidade à degradação da qualidade física do solo. Quando o crescimento da gramínea é em touceiras, proporcionando áreas de solo descoberto, os animais exercem maior impacto da pressão dos cascos e conseqüente maior tendência à compactação (CERVERLATI et al., 2011). Os resultados encontrados pelos autores anteriormente citados comprovam a afirmativa quando os valores resistência à penetração encontrados no estudo atingiram valores maiores no pós-pastejo em comparação ao pré-pastejo.

1.2 Pastagens

O território brasileiro tem cerca de 845 milhões de hectares, dos quais, 177 milhões de hectares são ocupados por pastagens e dentre as forrageiras mais utilizadas pela bovinocultura de corte no país estão as gramíneas do gênero *Brachiaria*, sendo utilizadas amplamente em várias regiões do Brasil devido ao seu alto rendimento e alta produção. Ainda, esse gênero pode

ter crescimento de até 1,0 m e oferecer suporte de até 2,0 UA/ha/ano (MOREIRA et al., 2018; VILELA, 2011).

Dentre as espécies, a *Brachiaria decumbens* é muito utilizada como forrageira, cobrindo cerca de 25 milhões de hectares no território nacional (MOREIRA et al., 2018). A *Brachiaria decumbens* pode ser utilizada para pastejo de lotação contínua ou rotacionada. No pastejo rotacionado, a entrada dos animais deve ser com 30-35 cm de altura e a saída quando a altura da forragem for reduzida para 20 cm. (PACIULLO et al., 2016).

A escolha do sistema de manejo a ser adotado numa área é de natureza complexa. Assim, o produtor deve levar em consideração as condições edafoclimáticas, bem como, a disponibilidade hídrica da região de interesse, a escolha da forrageira que melhor se adapta às condições supracitadas e ajustar a taxa de lotação de acordo com a capacidade de suporte da área (SANTOS & VIEIRA et al., 2012)

O Setor agropecuário no Brasil é caracterizado pelo uso de práticas de pecuária extensiva, manejo de taxas de lotação inadequadas à capacidade de suporte e pastos numa condição de superpastejo. O cenário nacional se reflete no semiárido brasileiro que vêm passando por processo de degradação e esgotamento de potencial produtivo por causa do uso de práticas inadequadas de manejo (PEDREIRA & PRIMAVESI, 2011; COUTINHO et al., 2013). Na região Agreste do estado de Pernambuco, a situação se repete com o agravante do déficit hídrico da região, caracterizado pela escassez das precipitações pluviométricas no período da seca, culminando na variação da oferta da forragem.

1.3 Manejo de pastagens

A modernização, originária dos avanços tecnológicos dos sistemas de produção e da organização da cadeia produtiva tornou possível a maior produtividade de áreas anteriormente consideradas improdutivas (RIBATSKI et al., 2018). Contudo, estima-se que 130 milhões de hectares, dos 200 milhões de pastagens - nativas ou implantadas no Brasil – apesar dos avanços, estão degradadas; o que prediz que a rentabilidade e produtividade brasileira poderia ser maior (GOMES et al., 2017).

Os estudos de Brougham (1955, 1956, 1957, 1958, 1959, 1960) trouxeram esclarecimentos à cerca de variáveis sobre produção e manejo de plantas forrageiras em pastagem, como: a importância do índice de área foliar, relações de interceptação luminosa pelo dossel e acúmulo de forragem, e a interação entre a frequência e intensidade de desfolhação (RIBATSKI et al., 2018). Estes estudos nortearam a criação de modelos de condução de pastejo.

O pastoreio contínuo consiste em adequar a capacidade de carga ao crescimento da pastagem, ou seja, adequar o número de animais de forma a aumentá-lo quando houver maior oferta de forragem e reduzi-lo quando houver escassez (RIBATSKI et al., 2018). De acordo com Beetz & Rinehart (2006), o pastejo contínuo permite que os animais pastem sem restrições, consumindo as plantas mais palatáveis consecutivamente, não permitindo a recuperação do pasto e o mesmo entra em senescência. Dessa forma, esse tipo de condução do pastejo deixa a comunidade vegetal menos desejada pelos animais no decorrer do tempo.

O pastejo rotacionado foi definido por André Voisin e o método consiste em dividir a propriedade em piquetes para permitir o descanso de algumas áreas, enquanto outras são pastejadas. Nesse modo de condução do pastejo, os períodos de pastoreio são suficientemente curtos, de modo que as plantas não esgotem e o tempo de descanso é suficientemente longo, de modo a permitir acúmulo de reserva nas raízes e nos colmos das plantas, assegurando o rebrote (RIBATSKI et al., 2018; SORIO, 2008).

Segundo Almeida et al. (2011) o pastoreio racional de Voisin prioriza a produção com o mínimo de adubo e defensivos sintéticos, sendo adequado especialmente para a pecuária leiteira. De acordo com os autores, o sistema gera rentabilidade para o produtor, protege a biodiversidade dos ecossistemas, aumenta a produtividade sem impacto ambiental negativo e contribui para o desenvolvimento socioeconômico, dando viabilidade produtiva da unidade familiar.

1.4 Influência da disponibilidade de nutrientes no crescimento das raízes

A baixa disponibilidade de nutrientes é um dos principais fatores que influenciam na qualidade e produtividade da pastagem e para que o potencial genético produtivo de uma planta forrageira seja atingido é preciso prover condições específicas de umidade, disponibilidade de nutrientes, temperatura e manejo (DE SOUZA ALVES et al. 2008). Para elevar a produção de forragem é necessária a aplicação de nutrientes, com destaque para especial para o nitrogênio, pois a quantidade desse elemento existente no solo não supre a demanda nutricional das gramíneas em alta produtividade (GUILHERME et al.1995).

A adubação nitrogenada pode estimular a produtividade das pastagens com eficiência variável dependendo da quantidade utilizada e da espécie da qual a forragem é composta. O suprimento de nitrogênio influencia na recuperação da forragem após a desfolhação alterando as características e adaptações morfofisiológicas, além disso, o nitrogênio é o principal integrante de substâncias proteicas e de compostos orgânicos formadores de estrutura vegetal

ou com atuação no metabolismo das plantas (DE SOUZA ALVES et al. 2008; MATTOS, 2001). O fornecimento de nitrogênio pode proporcionar maior frequência de cortes ou pastejo, por acelerar a capacidade de recuperação de plantas desfolhadas (VILELA & ALVIN, 1998).

Santos et al. (2008) estudaram a influência da adubação sobre a composição de massa seca das raízes da *Brachiaria decumbens* em casa de vegetação, comparando plantas com adubação de nitrogênio ($300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), fósforo ($50\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e potássio ($30\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e os resultados mostraram que a *Brachiaria decumbens* obtém melhores resultados, quanto ao crescimento das raízes, quando há administração de nitrogênio e fosforo, bem como, de nitrogênio e potássio em detrimento de suprimento apenas de nitrogênio, sendo a primeira adubação relacionada a opção com mais eficácia. Ademais, o mesmo estudo afirma que a adubação nitrogenada pode estimular o crescimento das raízes de *Brachiaria decumbens* em comparação com plantas sem adubação.

Ao avaliar a produção de raízes *Brachiaria decumbens* com aplicação de diferentes doses de nitrogênio (0, 100, 200 e $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) e volumes de água (40% e 80% da capacidade de campo), De Souza Alves et al. (2008) encontraram interação entre as doses de nitrogênio e o volume de água com melhor efeito na produção de raízes quando foi administrado o volume de 80% da capacidade de campo juntamente com $300\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

1.5 Recuperação de pastagens

A recuperação de pastagens e da qualidade física do solo são alcançadas revertendo os processos de degradação, combinando técnicas para amortizar custos operacionais com responsabilidade sustentável (NETO et al., 2015). Para os autores uma das técnicas que pode ser utilizadas é a da integração lavoura-pecuária que promove melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, além de proporcionar formação de palhada para o plantio direto (PETTER et al., 2011).

O referido sistema é uma alternativa para o controle de compactação e qualidade física do solo, utilizando forrageiras para melhorar a estrutura do solo (GONÇALVES et al., 2006; MAGALHÃES et al., 2009). Flores et al., (2007) afirmam que plantas forrageiras podem ser utilizadas para recuperação física do solo.

Algumas plantas são conhecidas por penetrar camadas compactadas do solo (LIMA et al., 2012) e o uso de forrageiras descompactadoras pode ser uma alternativa promissora para melhoria da qualidade física do solo (SEVERIANO et al., 2011b), mas pouco se conhece sobre o potencial das plantas do Gênero *Brachiária* para escarificação biológica (NETO et al., 2015).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Didática da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Município de Garanhuns, mesorregião Agreste do estado de Pernambuco (Figura 1). A localização da Fazenda tem coordenadas geográficas de 8° 58' S e 36° 27' W, para latitude e longitude, respectivamente, com altitude de 866 m. De acordo com a metodologia de Köppen, o clima da região está caracterizado como mesotérmico tropical de altitude (Cs'a) e as médias anuais da precipitação e da temperatura são de 908,6 mm e 20 °C (AZAMBUJA & CORRÊA, 2015).

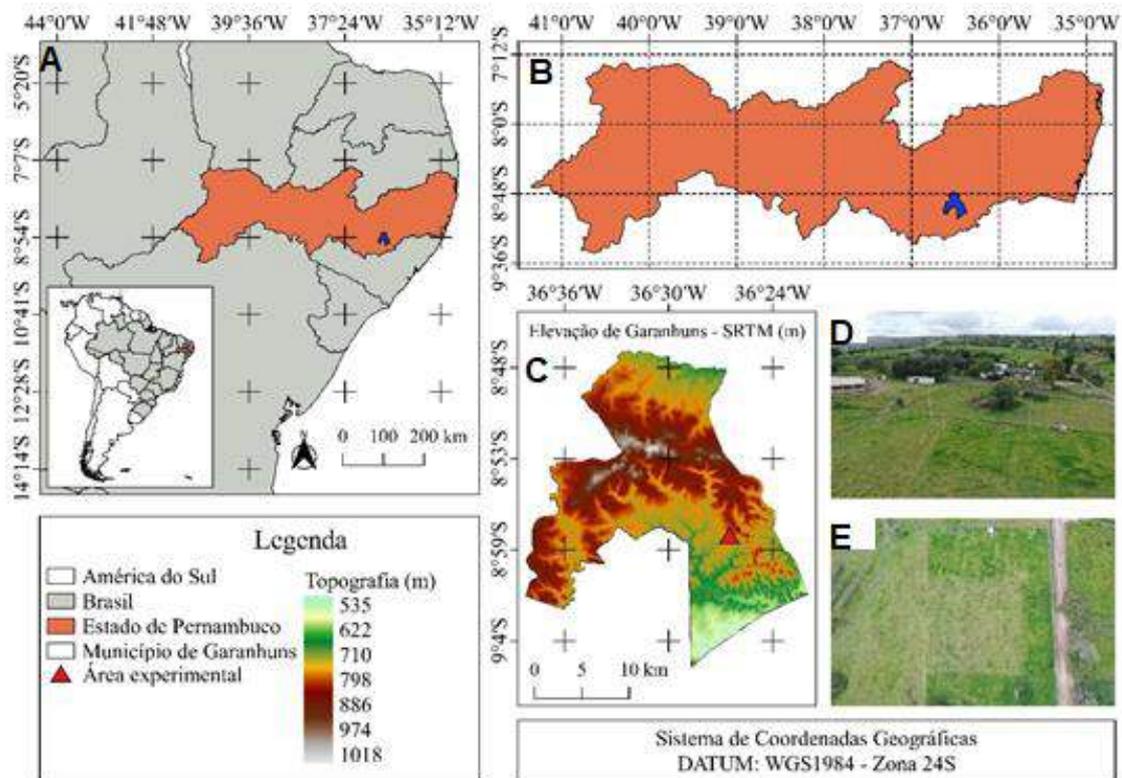


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Brasil (A); Mapa de localização da área de estudo em Pernambuco (B); Mapa de localização da Fazenda Experimental da UFRPE no município de Garanhuns-PE (C); Imagem RGB da Fazenda Didática (D); Imagem RGB do local da área de estudo (E).

Os dados da precipitação pluviométrica da região durante o período de estudo (agosto, a novembro de 2019) estão apresentados na Figura 2.

O solo do local foi classificado como Argissolo Amarelo de acordo com Lima et al. (2016).

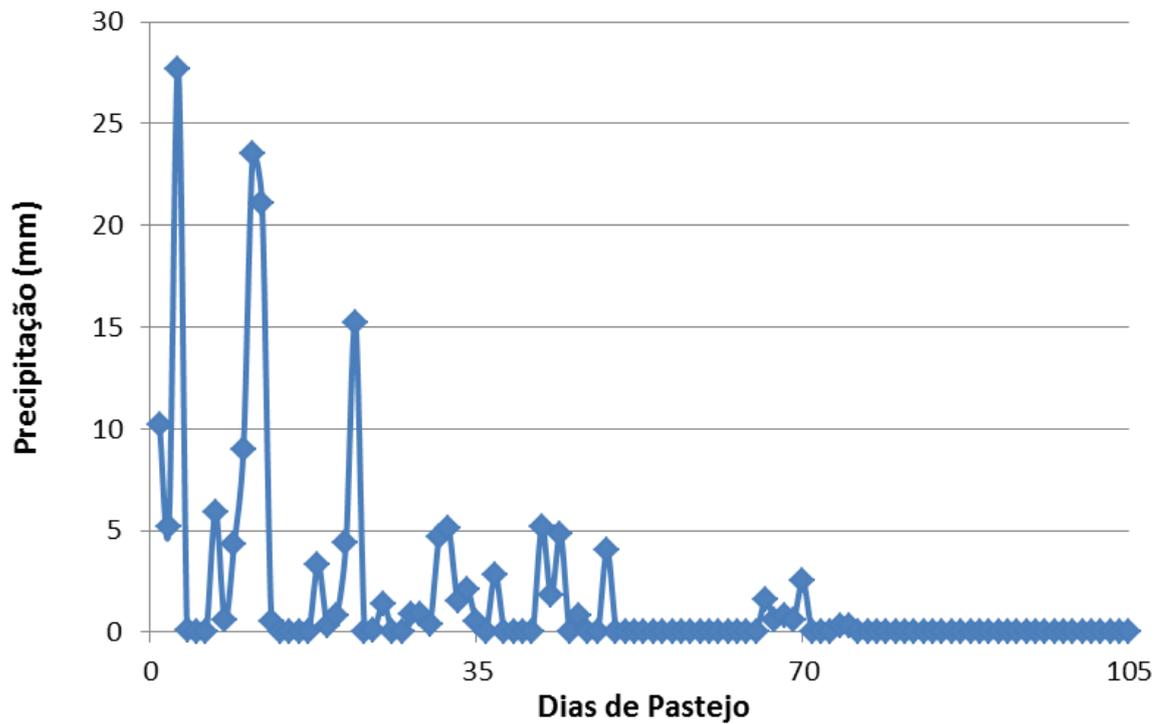


Figura 2. Precipitação pluviométrica registrada durante o período da pesquisa.

O estudo foi feito sob pastagem de capim *Brachiaria decumbens*, em que, a pastagem ocupa uma área de 0,5 hectare. A área foi dividida em 2 (dois) piquetes de 50 × 50 m, correspondentes à área para pastejo de bovinos de leite e uma área de controle (Figura 3). Em ambas as áreas foram realizadas as coletas indeformadas de solo para registro das propriedades físicas do solo, a saber: a D_s - densidade do solo, ϕ_{macro} - a macroporosidade do solo, ϕ_{micro} - microporosidade do solo, a RP - resistência mecânica do solo à penetração e a θ – umidade volumétrica do solo.

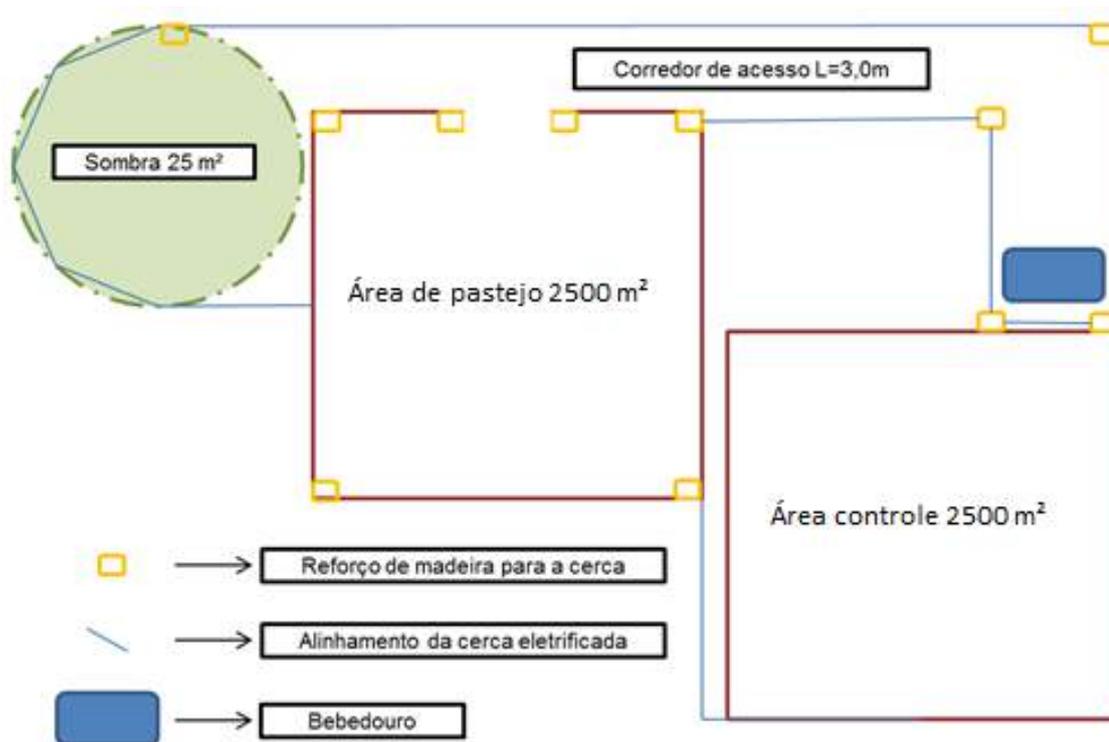


Figura 3. Croqui da área de pastagem e controle utilizados na pesquisa.

2.2 Manejo da Área Experimental

A área de pastagem foi manejada em pastejo rotacionado com 7 dias de ocupação e 28 dias de descanso. O ciclo de pastejo foi de 105 dias e iniciou quando o pasto atingiu a altura de 0,4 m (Paciullo et al., 2016). Foram utilizados 4 animais mestiços Holandês-Zebu, com lotação de 3,2 UA ha⁻¹.

Os animais tiveram acesso à uma área de bebedouro e outra de sombra (área de descanso) que foram posicionadas nas extremidades da área de pastejo (Figura 3). Os acessos às três áreas eram por meio de corredor que media 3 m de largura. A área de descanso é proporcionada por um cajueiro (*Anarcadium occidentale*) de 12 m de altura que projeta uma sombra de, em média, 25 m².

A área utilizada no experimento já era utilizada para pastejo e o pasto das áreas, de pastejo e controle, já estavam implantados no início da pesquisa, mas foi feita uma adubação de cobertura de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Adubação de cobertura realizada nas áreas de pasto e controle antes no início da pesquisa.

Fertilizantes	Quantidade (kg)
Superfosfato simples	50,00
Cloreto de potássio	37,50
Ureia / Nitrogênio	37,50 / 16,88

2.3 Amostragem de Solo e Determinação das Propriedades do Solo

As primeiras amostras foram coletadas antes da primeira passada dos animais pelo piquete e as outras amostragens foram realizadas ao final de cada período de descanso da pastagem, ou seja, nos dias 0, 35, 70 e 105 (Figura 4). Dessa forma, adotou-se as notações de T0 (0 dias), T1 (35 dias), T2 (70 dias) e T3 (105 dias) para representar os períodos de coletas, que foram feitas na área de pastejo e controle, simultaneamente.

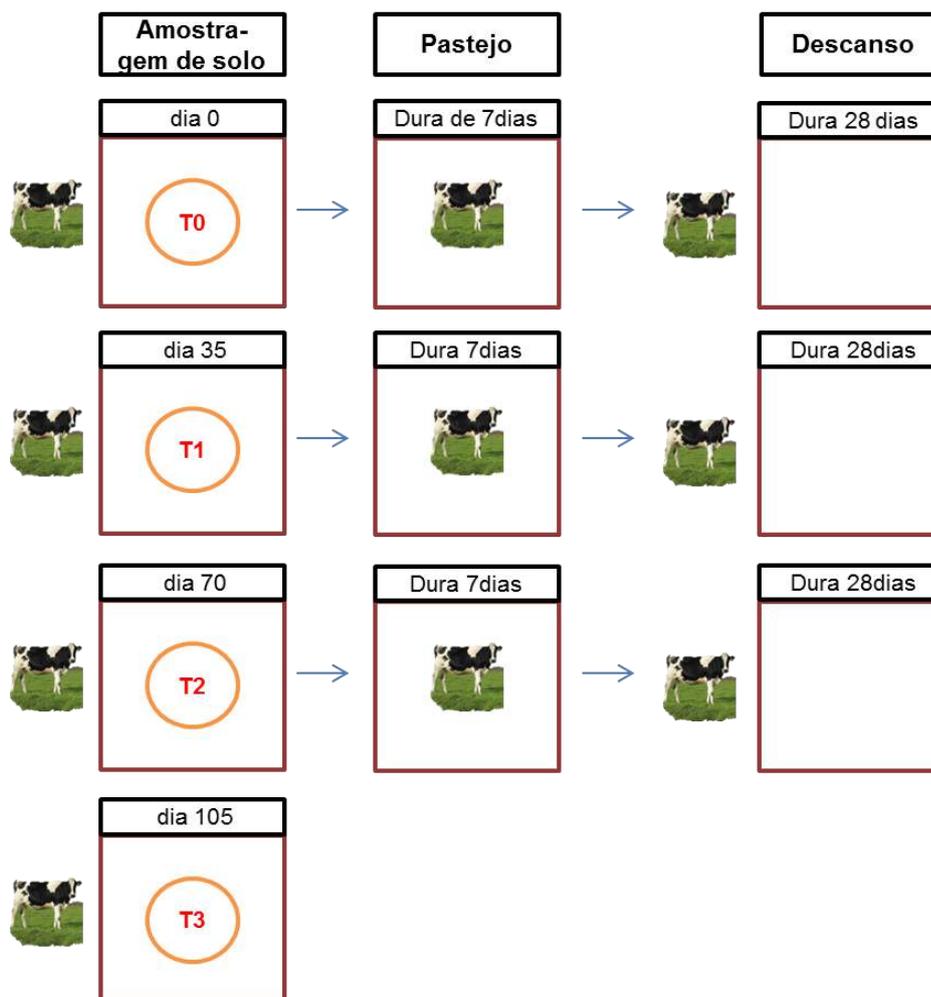


Figura 4. Ciclo de pastejo e períodos de amostragem de solos.

Durante a amostragem foram coletadas em cada área (pastejo e controle) 8 amostras de solo indeformadas para o ensaio de resistência à penetração, em que, 4 amostras foram equilibradas a uma tensão matricial de 30 hPa e 4 amostras foram equilibradas na tensão de 60 hPa, utilizando-se uma mesa de tensão (Figura 5).

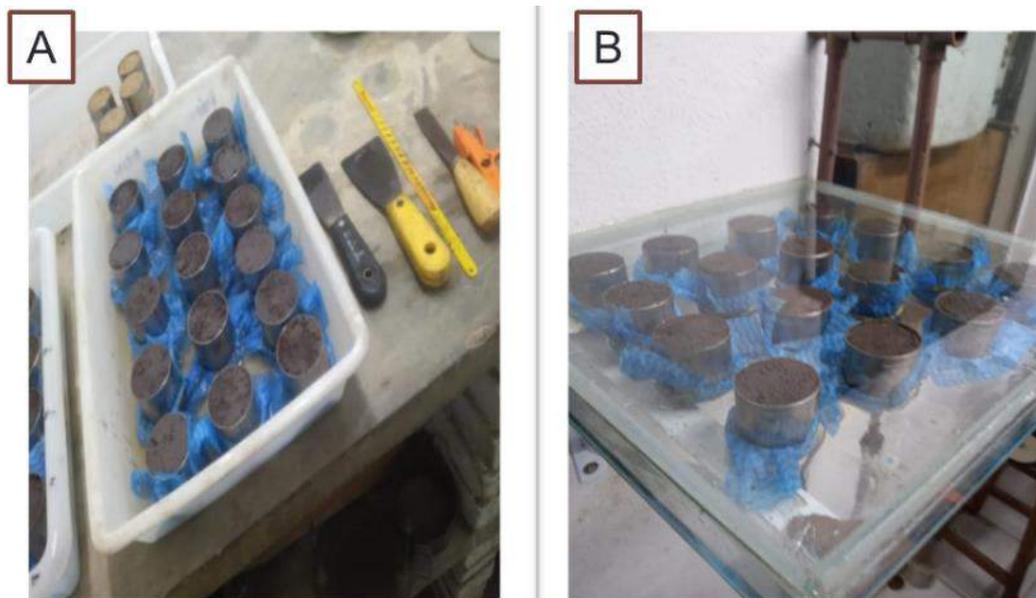


Figura 5. Amostras preparadas para realização dos ensaios de laboratório (A) e na mesa de tensão (B).

As amostras para o ensaio de resistência do solo à penetração (RP) foram coletadas em anéis com 0,05 m de diâmetro e 0,05 m de altura, fazendo uso de um amostrador do tipo Uhland e, para realizar o ensaio, utilizou-se um penetrômetro digital TECNAL TE-096 (Figura 6), em que foi utilizado o teste de penetração com duas perfurações paralelas ao longo do anel e com distâncias de 10,0 mm do centro do anel, às extremidades direita e esquerda da amostra, de forma a evitar as bordas. O teste foi feito adotando a ponteira de 4 mm de diâmetro com velocidade de perfuração de $0,0025 \text{ m s}^{-1}$ e, para efeitos quantitativos, foi feita uma média dos valores das duas perfurações correspondentes ao centro do anel.



Figura 6. Penetrômetro de bancada.

Antes dos ensaios de resistência do solo à penetração (RP), as amostras foram pesadas para a obtenção da massa do solo úmido (M_{su}) e após os ensaios as amostras foram secas em estufa por 24 horas à temperatura de $105\text{ }^{\circ}\text{C}$.

A densidade do solo (D_s) foi determinada pela razão da massa do solo seco (M_{ss}) pelo volume da amostra de solo (V), conforme a Equação 1.

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V} \quad (\text{Eq.1})$$

Em que:

D_s - densidade do solo (g cm^{-3});

M_{ss} - massa do solo seco (g);

V - volume de solo (cm^3).

A umidade gravimétrica do solo (Ug) foi determinada pela diferença entre a massa do solo seco (Mss) e massa do solo úmido (Msu) em relação ao volume da amostra de solo (V), segundo a Equação 2.

$$Ug = \frac{Msu - Mss}{Mss} \quad (\text{Eq.2})$$

Em que:

Ug - umidade gravimétrica do solo ($g\ g^{-1}$);

Msu - massa do solo úmido (g);

Mss - massa do solo seco (g).

A densidade de partículas do solo (Dp) foi determinada pelo método do balão volumétrico de acordo com a Equação 3, relacionando a massa do solo úmido (Mss) e o volume de partículas do solo (Vs), em que o Vs pode ser obtido pela diferença entre o volume do balão e o volume necessário para completar o balão quando o mesmo já se encontra com amostra.

$$Dp = \frac{Mss}{Vs} \quad (\text{Eq.3})$$

Em que:

Dp - densidade de partículas do solo ($g\ cm^{-3}$);

Mss - massa do solo seco (g);

Vs - massa do solo seco (cm^3).

A porosidade total do solo (ϕ) foi determinada por meio da razão entre a densidade do solo (Ds) e a densidade de partículas do solo (Dp), conforme a Equação 4.

$$\phi = 1 - \frac{Ds}{Dp} \quad (\text{Eq.4})$$

Em que:

ϕ - porosidade total do solo ($cm^3\ cm^{-3}$);

Ds - densidade do solo ($g\ cm^{-3}$);

Dp - densidade de partículas do solo ($g\ cm^{-3}$).

As umidades volumétricas do solo (θ) foram obtidas pelo produto da U_g e da D_s , quando as amostras estavam umedecidas nas tensões de 30 hPa (θ 30) e 60 hPa (θ 60), conforme descrito na Equação 5 (EMBRAPA, 2017).

$$\theta = U_g \times D_s \quad (\text{Eq.5})$$

Em que:

θ - umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

U_g - umidade gravimétrica do solo (g g^{-1});

D_s - densidade do solo (g cm^{-3}).

A microporosidade do solo (ϕ_{micro}) foi obtida pela igualdade com a umidade do solo na tensão de 60 hPa (θ 60), conforme Equação 6 (CAVALCANTI et al., 2020).

$$\phi_{\text{micro}} = \theta \text{ 60} \quad (\text{Eq.6})$$

Em que:

ϕ_{micro} - microporosidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ 60 – umidade do solo sob tensão de 60 hPa ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

A macroporosidade do solo (ϕ_{macro}), por sua vez, foi obtida por meio da diferença entre a porosidade total do solo (ϕ) e a umidade sob a tensão de 60 hPa (θ 60), conforme apresentado na Equação 7.

$$\phi_{\text{macro}} = \phi - \theta \text{ 60} \quad (\text{Eq.7})$$

Em que:

ϕ_{macro} - macroporosidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

ϕ - porosidade total do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ 60 – umidade do solo sob tensão de 60 hPa ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

2.4 Análise Estatística

A análise estatística foi realizada utilizando-se elementos da estatística descritiva (média e desvio padrão) e análises de variância utilizando-se modelos encaixados para representar as alterações das propriedades físicas do solo ao longo do período de pastejo, bem como, para comparar tais alterações quando ocorreram na área que estava submetida ao pastejo rotacionado à área de controle. Ainda, aplicou-se uma abordagem multivariada, análise de discriminantes canônicas (ADC), na intenção de agrupar e reduzir as variáveis originais. As variáveis canônicas foram representadas em gráficos bidimensionais, do tipo Biplot, com alta retenção da variabilidade experimental e as médias dessas variáveis foram comparadas por esferas de confiança a 95% de significância. A análise multivariada foi feita utilizando-se o pacote *candisc*, através do *software* R (R CORE TEAM, 2016).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios dos atributos físicos do solo no decorrer dos ciclos de pastejo estão apresentados na Tabela 2. Para todas as variáveis analisadas (densidade do solo, microporosidade do solo, macroporosidade do solo, resistência do solo à penetração) não foram observadas diferenças significativas ($p>0,05$) entre as áreas de pastejo rotacionado e controle.

Tabela 2. Valores médios e desvio padrão dos atributos físicos do solo analisados ao longo do período de estudo no pastejo rotacionado e na área de controle.

		Pastejo Rotacionado					Controle				
		Ds	ϕ	ϕ_{macro}	ϕ_{micro}	RP	Ds	ϕ	ϕ_{macro}	ϕ_{micro}	RP
		(Mg m ⁻³)	(m ³ m ⁻³)	(m ³ m ⁻³)	(m ³ m ⁻³)	(MPa)	(Mg m ⁻³)	(m ³ m ⁻³)	(m ³ m ⁻³)	(m ³ m ⁻³)	(MPa)
T0	Média	1,51	0,40	0,18	0,19	2,45	1,51	0,40	0,18	0,19	2,45
	σ^1	0,12	0,05	0,04	0,02	0,04	0,12	0,05	0,04	0,02	0,54
T1	Média	1,42	0,43	0,24	0,18	1,50	1,38	0,45	0,27	0,17	1,56
	σ^1	0,08	0,03	0,03	0,01	0,40	0,05	0,02	0,01	0,01	0,37
T2	Média	1,42	0,43	0,25	0,18	1,60	1,35	0,46	0,26	0,18	1,42
	σ^1	0,07	0,03	0,04	0,00	0,83	0,10	0,04	0,03	0,01	0,39
T3	Média	1,39	0,44	0,28	0,18	1,65	1,36	0,46	0,29	0,16	1,71
	σ^1	0,07	0,03	0,01	0,01	0,53	0,06	0,03	0,03	0,02	0,39

Atributos físicos do solo: Ds - Densidade do solo; ϕ_{micro} - microporosidade do solo; ϕ_{macro} - macroporosidade do solo; RP - resistência do solo à penetração. Períodos de amostragem: T0 - 0 dias; T1 - 35 dias; T2 - 70 dias; T3 - 105 dias. σ^1 - desvio padrão.

Essa equidade estatística entre as áreas (pastejo rotacionado e controle) permitiu que a análise de modelos encaixados agrupasse dados das duas áreas avaliadas para analisar o comportamento das alterações das propriedades físicas do solo no decorrer do período de pastejo (T0, T1, T1 e T3).

A densidade do solo (Ds) apresentou decréscimo no decorrer do ciclo de pastejo (T0-T1), (T1-T2) e (T2-T3) e durante todo o período de estudo os valores ficaram abaixo de 1,65 Mg m⁻³ (Figura 7) que é recomendado por Reinert et al. (2008) para solos com características arenosas. Segundo o estudo de Calonego et al. (2011) o capim *Brachiaria* tem como potencial melhorar as condições estruturais do solo. É possível que a adubação anterior ao período do

experimento (Tabela 1) aliada à precipitação no início da pesquisa (Figura 2) tenha estimulado o crescimento radicular da forrageira provocando a descompactação do solo. Segundo Santos et al. (2008), a administração de suprimento de nitrogênio com fósforo ou potássio tem influência significativa no crescimento das raízes de *Brachiaria decumbens*.

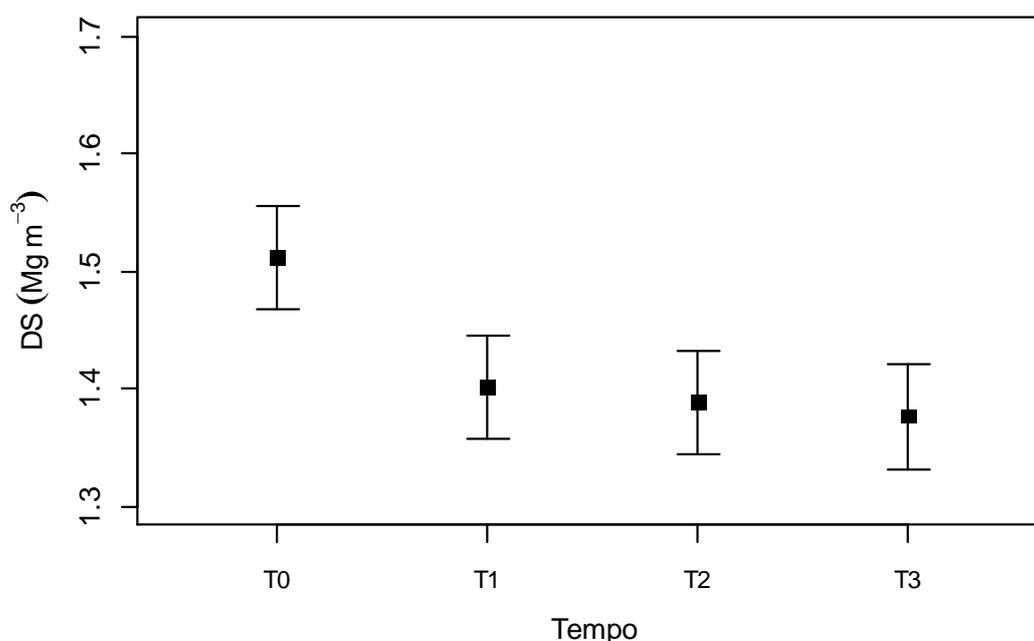


Figura 7. Variação da densidade do solo (DS) em relação ao período de amostragem. Períodos de amostragem: T0 = 0 dia; T1 = 35 dias; T2 = 70 dias e T3 = 105 dias, na área experimental ($p < 0,05$).

Não foram observadas diferenças na RP quando analisados os valores na área de pastejo e controle, bem como, não houve diferença entre os potenciais de 30 e 60 hPa, aos quais o solo foi umedecido. Deste modo, a RP e as demais variáveis do solo, tiveram seus efeitos avaliados apenas ao longo do tempo. A RP apresentou redução dos valores no decorrer do experimento (Figura 8). Entretanto antes do pastejo (T0) os valores estavam acima de 2,0 MPa que é apontado por Bayat et al., (2017) como limite crítico para o crescimento radicular e desenvolvimento das plantas. Após o primeiro ciclo de pastejo (T0-T1), a RP reduziu a ponto de não mais ultrapassar o limite de 2,0 MPa.

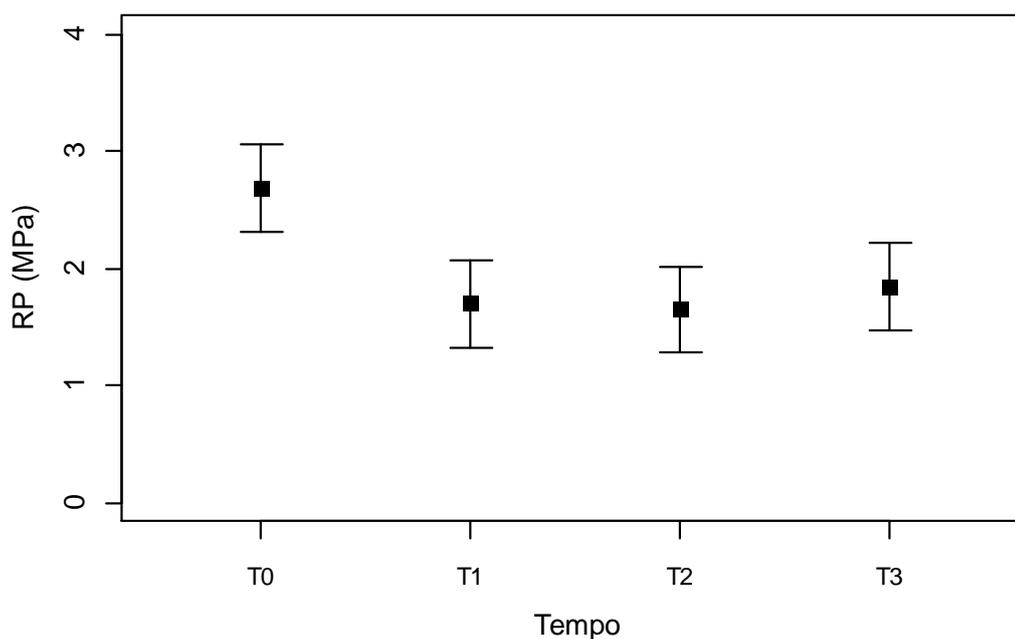


Figura 8. Variação da resistência à penetração do solo (RP) em relação ao período de amostragem. Períodos de amostragem: T0 = 0 dias; T1 = 35 dias; T2 = 70 dias e T3 = 105 dias, nas áreas experimentais ($p < 0,05$).

Na Figura 9 está representada a classificação dos poros do solo e observa-se aumento da ϕ no decorrer do experimento. Tal resultado confirma a relação de proporcionalidade inversa entre a densidade e porosidade do solo. Essa dinâmica entre os valores das duas propriedades físicas do solo também foi observada por Batista et al. (2019), Nascimento et al. (2017) e Lima et al. (2013). De acordo com o estudo de Carmo et al. (2018) o capim *Braquiária* pode promover aumento na quantidade de poros do solo.

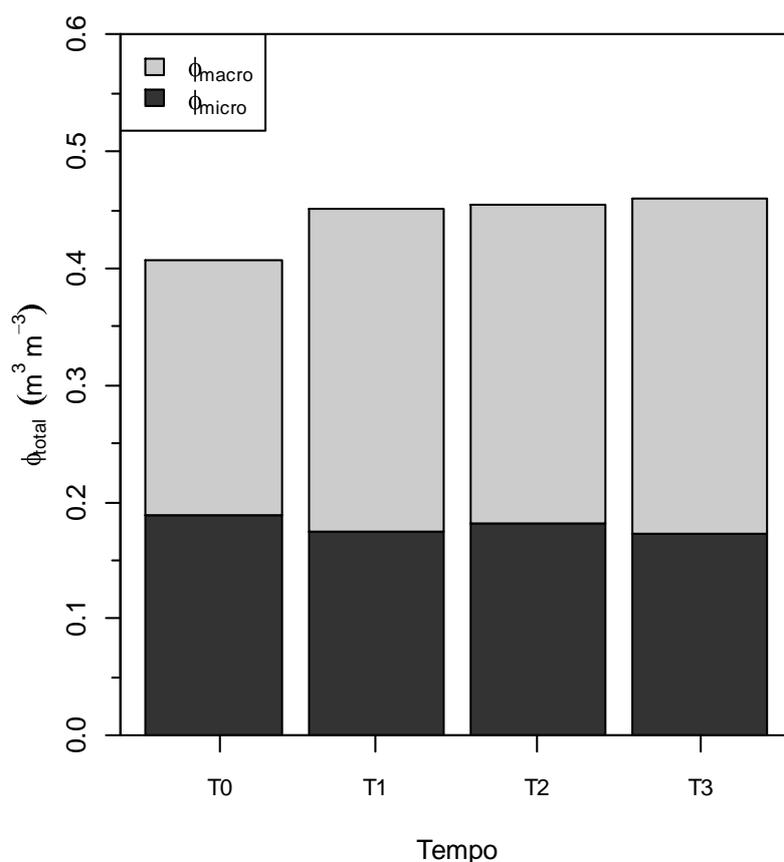


Figura 9. Caracterização e variação da porosidade total do solo (ϕ) em relação ao período de amostragem. Períodos de amostragem: T0 = 0 dias; T1 = 35 dias; T2 = 70 dias e T3 = 105 dias, nas áreas experimentais. ϕ_{macro} - Macroporosidade do solo ; ϕ_{micro} - Microporosidade do solo.

A ϕ_{macro} teve acréscimo em seus valores ao longo do tempo de pastejo, enquanto a ϕ_{micro} não apresentou alterações significativas ($p > 0,05$) no decorrer do experimento (Figura 10). Estudos realizados por Mazurana et al. (2013) e Carmo et al. (2018) observaram que o tráfego sobre o solo tem pouca influência na microporosidade do solo. Segundo os autores a ϕ_{micro} é mais afetada por características intrínsecas ao solo, como a textura e o conteúdo de matéria orgânica, além de estar mais ligado ao armazenamento e retenção de água.

Em contrapartida, a ϕ_{macro} tem relação direta com a compactação do solo (TELES et al. 2021) e a mesma apresentou-se acima do valor limitante de $0,1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, restritivo ao crescimento das plantas por causa da baixa taxa de difusão de gases no solo XU et al. (1992).

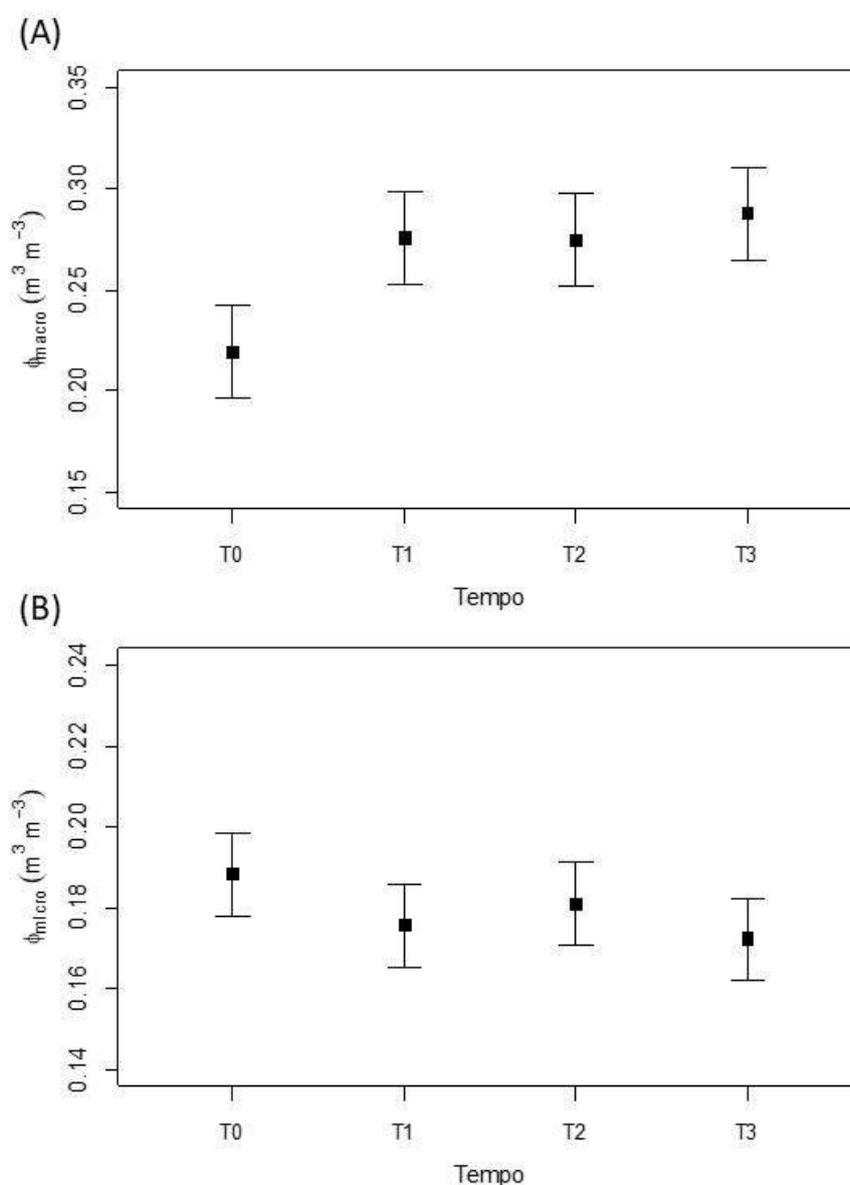


Figura 10. Variação quantitativa da macroporosidade do solo (A) e da microporosidade do solo (B) em relação ao período de amostragem. Períodos de amostragem: T0 = 0 dia; T1 = 35 dias; T2 = 70 dias e T3 = 105 dias, na área experimental ($p < 0,05$).

A Figura 11 apresenta a análise multivariada canônica que mostra a melhora da qualidade física do solo quando o mesmo esteve submetido ao pastejo rotacionado de bovinos de leite. Essa afirmativa se baseia nos valores mais altos de D_s , RP e ϕ_{micro} no período T0 e redução desses valores ao longo do tempo. Durante os períodos T1, T2 e T3, além de redução dos atributos físicos do solo citados anteriormente, também indicou incremento da ϕ_{macro} . Ademais, a análise denota sobreposição das esferas de confiança T1, T2 e T3 indicando que os

parâmetros de qualidade física do solo mostraram valores semelhantes aos 35, 70 e 105 dias de pastejo.

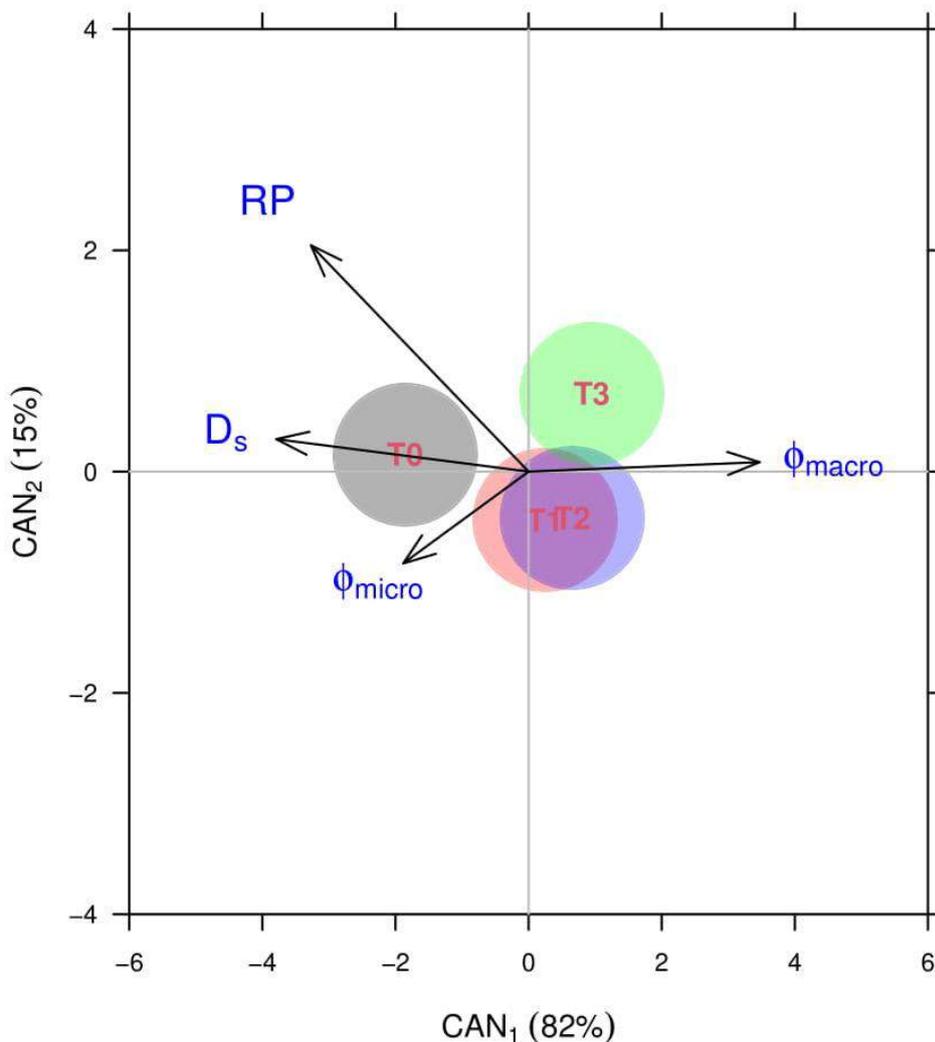


Figura 11. Dispersão dos scores das variáveis canônicas (Can1 e Can2) em relação ao período de amostragem. Períodos de amostragem: T0 = 0 dias; T1 = 35 dias; T2 = 70 dias e T3 = 105 dias. Ds - densidade do solo; RP - Resistência à penetração; ϕ_{macro} - volume de macroporos; ϕ_{micro} - volume de microporos.

Os resultados encontrados diferem dos encontrados por Batista et al. (2019), que estudaram o efeito do pastejo extensivo em um solo arenoso no semiárido brasileiro e encontraram redução da qualidade física do solo com 21 dias de pastejo. De Souza Alves et al. (2008) estudando o crescimento de raízes da *Brachiaria decumbens* encontraram resposta linear apresentada pelo sistema radicular às diferentes doses de nitrogênio (0, 100, 200 e 300 kg ha⁻¹) e volumes de água (40 e 80% da capacidade de campo), ou seja, o Capim-braquiária pode produzir mais massa de raízes à concentrações mais elevadas de nitrogênio e volumes de água.

Neto et al. (2015) afirmam que as forrageiras do tipo *Brachiaria decumbens* mostraram potencial intermediário no rompimento de camadas compactadas.

Os estudos supracitados podem corroborar os resultados obtidos no início do experimento em que houve melhora da qualidade física do solo e a estagnação dessa melhora após o primeiro ciclo pode ter acontecido devido à redução da precipitação pluviométrica nos momentos T1, T2 e T3. Ainda, a quantidade aplicada de nitrogênio não foi fracionada durante a pesquisa e pode ter sido insuficiente para observarmos melhora significativa durante todo o período, pois o nitrogênio pode assumir formas de elevada solubilidade em água ou mesmo formas gasosas, sendo, portanto susceptível a perdas causando deficiências nutricionais (MATTOS et al. 2001).

4 CONCLUSÕES

O pastejo rotacionado de bovinos de leite não alterou negativamente a qualidade física do solo no decorrer dos ciclos de pastejo.

O manejo adotado não apresentou alterações significativas na estrutura do solo, evidenciado pela semelhança estatística entre a área de pastejo e a área de controle.

O pastejo rotacionado aliado à adubação nitrogenada e alta precipitação, no início do estudo, proporcionaram redução da densidade, microporosidade e resistência à penetração do solo, bem como, aumento da macroporosidade do solo.

5 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALMEIDA, L. B.; COSTA, F. M. G.; PANHOCA, L.; GOMES, de A.; ROBAZZA, W. S. Práticas de controles gerenciais pelos produtores de leite no Oeste de Santa Catarina que adotam o método de Pastoreio Racional Voisin (PRV), Custos e agronegócio online, v. 7, n. 1, 2011.

AZAMBUJA, R. N.; & CORRÊA, A. C. B. Geomorfologia e áreas de expansão urbana do município de Garanhuns-PE: uma abordagem espaço-temporal dos eventos morfodinâmicos para o planejamento territorial. Geo UERJ, n.27, p.202-233, 2015.

BATISTA, P. H.; DE ALMEIDA, G. L.; DE LIMA, R. P.; PANDORFI, H.; DA SILVA, M. V.; ROLIM, M. M; Impact of short-term grazing on physical properties of Planosols in Northeastern Brazil. Geoderma Regional, v. 19, p. e00234, 2019.

BAYAT, H.; SHEKLABADI, M.; MORADHASELI, M.; EBRAHIMI, E. Effects of slope aspect, grazing, and sampling position on the soil penetration resistance curve. Geoderma, v.303, p.150-164, 2017.

BEETZ, A. E.; RINEHART, L. Pastures: sustainable management. Fayetteville: ATTRA, 2006. 20 p

BONETTI, J. D. A.; PAULINO, H. B.; SOUZA, E. D. D.; CARNEIRO, M. A. C.; SILVA, G. N. D. Influência do sistema integrado de produção agropecuária no solo e na produtividade de soja e braquiária. Pesquisa Agropecuária Tropical, v.45, p.104-112, 2015.

BONETTI, J. D. A.; ANGHINONI, I.; GUBIANI, P.I.; CECAGNO, D.; DE MORAES, M.T. Impact of a long-term crop-livestock system on the physical and hydraulic properties of na Oxisol. Soil Tillage, v. 186, p. 280–291, 2019.

CALONEGO, J. C.; BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Intervalo hídrico ótimo e compactação do solo com cultivo consorciado de milho e braquiária. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 6, p. 2183-2190, 2011.

CAPURRO, E. P. G.; SECCO, D.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Compressibilidade e elasticidade de um Vertissolo afetado pela intensidade de pastejo bovino Ciência Rural, vol. 44, n. 2, p. 283-288, 2014.

CARMO, M.; CUNICO, J.; SANTOS, M.; SILVA, P.; SIQUEIRA, M. Densidade e porosidade do solo em pastagem recuperada e degradada, na Amazônia ocidental. *Agrarian Academy*, v. 5, n. 09, 2018.

CAVALCANTI, R. Q.; ROLIM, M. M.; DE LIMA, R. P.; TAVARES, U. E.; PEDROSA, E. M.; Cherubin, M. R. Soil physical changes induced by sugarcane cultivation in the Atlantic Forest biome, northeastern Brazil. *Geoderma*, v. 370, p. 114353, 2020.

CERVELATI, K. F.; NETO, E. L. S.; EGUCHI, E. S.; SILVA, M. R.; PIERANGELI, M. A. P. Efeito de diferentes sistemas de pastejo em atributos físicos do solo. *PUBVET*, v. 5, Ed. 169, Art. 1142, 2011.

CHIODEROLI, C. A.; MELLO, L. M. M.; GRIGOLLI, P. J.; FURLANI, C. E. A.; SILVA, J. O. R.; CESARIN, A. L. Atributos físicos do solo e produtividade de soja em sistema de consórcio milho e braquiária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 1, p. 37-43, 2012.

COSTA, M. A. T.; TORMENA, C. A.; LUGÃO, S. M. B.; FIDALSKI, J.; NASCIMENTO, W. G.; MEDEIROS, F. M. Resistência do solo à penetração e produção de raízes e de forragem em diferentes níveis de intensificação do pastejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, p. 993-1004, 2012.

COUTINHO, M. J. F.; CARNEIRO, M. S. D. S.; EDVAN, R. L.; PINTO, A. P. A pecuária como atividade estabilizadora no semiárido brasileiro. *Veterinária e Zootecnia*, v. 20, p. 434-441, 2013.

DE SOUZA ALVES, J.; PIRES, A. J. V.; MATSUMOTO, S. N.; DE FIGUEIREDO, M. P.; RIBEIRO, G. S. Características morfológicas e estruturais da *Brachiaria decumbens* Stapf. submetida a diferentes doses de nitrogênio e volumes de água. *Acta Veterinaria Brasilica*, v. 2, n. 1, p. 1-10, 2008.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análises de solo. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2017.

FERREIRA, C. J. B.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; FRANCO, H. H. S.; MOREIRA, W. H.; GALBEIRO, S.; RIBEIRO, O. L. Soil physical properties under a 'Tanzânia' grass pasture fertilized with mineral nitrogen or intercropped with stylosanthes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.53, p.478-486, 2018.

- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-28, 2010.
- FROLLA, F.; APARICIO, V.; COSTA, J. L.; KRÜGER, H. Soil physical properties under different cattle stocking rates on Mollisols in the Buenos Aires Province, Argentina. *Geoderma Regional*, v.14, n. 00177, 2018.
- GOMES, R. C.; FEIJÓ, G. L. D.; CHIARI, L. Evolução e Qualidade da Pecuária Brasileira Embrapa Gado de Corte, 2017.
- GONÇALVES, W. G.; JIMENEZ, R. L.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P. & PIRES, F. R. Sistema radicular de plantas de cobertura sob compactação do solo. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*. v.26, n.1, p.67-75, 2006.
- GUILHERME L.R.G.; VALE F.R.; GUEDES G.A.A. 1995. Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade de nutrientes. Lavras: Esal; Faepe. 171p.
- GUIMARÃES, W. D.; JUNIOR, J. G.; MARQUES, E. A.; SANTOS, N. T.; FERNANDES, R. B. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, p. 247, 2016.
- HORN, R., WAY, T., ROSTEK, J., 2003. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. *Soil Tillage Res.* v. 73, p. 101–106.
- KRÜMMELBEIN, J., PETH, S., HORN, R., 2008. Determination of pre-compression stress of variously grazed steppe soil under static and cyclic loading. *Soil Tillage Res.* 99 (2), 139–148.
- LIMA, A. M. I.; ARAÚJO, C. M. de.; BARBOSA, S. R. Avaliação das propriedades físicas do solo em sistemas silvipastoris, região centro norte, estado do Piauí. *Agropecuária Científica no Semiárido*, v.9, n.1, p.117-124, 2013.
- LIMA, E. M.; BARROS CORRÊA, A. C.; FONSÊCA, D. N. Dinâmica geomorfológica quaternária da cimeira estrutural pernambuco-alagoas, planalto da borborema. *Revista do Departamento de Geografia*, v.31, p.142-155, 2016.
- LIMA, V. M. P.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R. Intervalo Hídrico Ótimo como indicador de melhoria da qualidade estrutural de Latossolo degradado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 1, p. 71-78, 2012.

- MAGALHÃES, J. A. Características morfogênicas e estruturais, produção e composição bromatológica de gramíneas forrageiras sob irrigação e adubação. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza-CE, p.139 2010.
- MATTOS W.T. 2001. Avaliação de pastagem de capim braquiária em degradação e sua recuperação com suprimento de nitrogênio e enxofre. Tese (Doutorado) Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 97p.
- MAZURANA, M.; FINK, R. J.; SILVEIRA, H. V. da.; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; BREZOLIN, D. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolos vermelho sob tráfego controlado de máquinas. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, n.5, p.1185-1195, 2013.
- MELO, M. L. A.; GUIMARÃES, E. V.; SILVA, B. M.; DA COSTA, É. L.; CAIXETA, S. P. Soil physical quality after nitrogen fertilizers use in irrigated pasture of Tifton 85. Scientia agraria, v.18, p.194-203, 2017.
- MOREIRA, N., MARTIN, C. C., HILGERT, A. R., TOSTES, R. A., & VIOTT, A. D. M. Fotossensibilização hepatógena em bovinos por ingestão de Brachiaria decumbens. Archives of Veterinary Science, v. 23, n. 1, 2018.
- NASCIMENTO, V. N., ALMEIDA, G. L. P., BATISTA, P. H. D., COUTINHO, A. S. Atributos físicos do neossolo regolítico distrófico sob pastagem submetido à colheita mecanizada da forragem e pastejo animal. Boletim de Indústria Animal, v. 74, n. 3, p. 169-175, 2017.
- NETO, J. F.; SEVERIANO, E. D. C.; COSTA, K. A. D. P.; JUNNYOR, W. S. G. Biological soil loosening by grasses from genus Brachiaria in crop-livestock integration. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 37, n. 3, p. 375-383, 2015.
- ORTIGARA, C.; KOPPE, E.; BONINI DA LUZ, F.; KAISER, D. R.; RODRIGUES DA SILVA, V. Uso do solo e propriedades físico-mecânicas de Latossolo Vermelho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.38, p.619-626, 2014.
- PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M. As contribuições de Brachiaria e Panicum para a pecuária leiteira. Pecuária de leite no Brasil: cenários e avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa, p. 167-186, 2016.

PEDREIRA, M. S.; PRIMAVESI, O. Aspectos ambientais na bovinocultura. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. de. Nutrição de Ruminantes. 2.ed., Jaboticabal: FUNEP, Cap. 16, 2011. p. 521-536.

PETTER, F. A.; PACHECO, L. P.; PROCÓPIO, S. O.; CARGNELUTTI FILHO, A.; VOLF, M. R. Seletividade de herbicidas à cultura do milho e ao capim-braquiária cultivadas no sistema de integração lavoura-pecuária. Semina: Ciências Agrárias, v. 32, n. 3, p. 855-864, 2011.

R. CORE TEAM R: A Language and Environment for Statistical Computing [internet] R Foundation for statistical computing, 2016.

RABELO, N. A. Método de Análise. (Cadernos Didáticos; 12). Ed. UCG, 2000. 88p.

REICHERT, J. M.; CECHIN, N. F.; REINERT, D. J.; RODRIGUES, M. F.; SUZUKI, L. E. A. S. Ground-based harvesting operations of Pinus taeda affects structure and pore functioning of clay and sandy clay soils. Geoderma, v.331, p.38-49, 2018.

REICHERT, J. M.; ROSA, V. T.; VOGELMANN, E. S.; ROSA, D. P.; HORN, R.; REINERT, D. J.; SATTLER, A.; DENARDIN, J. E. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. Soil & Tillage Research, v.158, p.123-136, 2016.

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; CUBILLA ANDRADA, M. M. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p. 1805-1816, 2008.

RIBATSKI, E. O.; SANTOS F.S.; NOGARA NETO, F.; Revisão sobre utilizações de RPAs no cenário agrícola Brazilian Journal of Technology, Brazilian Journal of Technology, v. 1, n. 2, p. 313-333, 2018.

ROSSATO, O. B.; MARTELLO, J. M.; CRUSCIOL, C. A. C. Fitomassa e acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar sob compactação e umidade do solo. Irriga, v.21, p.605-619, 2016.

SANTOS, A.G.T; VIEIRA, A. R. Alturas de pastejo recomendadas para as principais forrageiras considerando 95% de interceptação luminosa. Cadernos de Pós-Graduação da FAZU, v. 2, 2012.

SANTOS, L. C.; BONOMO, P.; DA SILVA, C. C. F.; PIRES, A. J. V.; VELOSO, C. M.; DA SILVA PATÊS, N. M. Produção e composição química da brachiaria brizantha e brachiaria decumbens submetidas a diferentes adubações. *Ciência animal brasileira*, V. 9, N. 4, P. 856-866, 2008.

SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; DIAS JÚNIOR, M. S.; COSTA, K. A. P.; SILVA, F. G.; FERREIRA FILHO, S. M. Structural changes in latosols of the cerrado region: I – relationships between soil physical properties and least limiting water range. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 3, p. 773-782, 2011.

SILVA, R.O.; BARIONI, L.G.; HALL, J.J.; MORETTI, A.C.; VELOSO, R.F.; ALEXANDER, P.; MORAN, D., 2017. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. *Agric. Syst.* 153, 201–211.

SORIO, A. Sustentabilidade nos sistemas de produção de bovinos Visão administrativa sobre o método Voisin *Revista da política agrícola*. Ano XVII – Nº 2. 2008.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO, E. F.; OR, D. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. *Irriga*, v.11, p.12-25, 2006.

TAVARES, U. E.; MONTENEGRO, A. A. A.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. S.; VICENTE, T. F. V.; ANDRADE, C. W. L. Spatial variability of penetration resistance and soil water content in Neossolo Flúvico. *Water Resources and Irrigation Management*, v.3, p.79-89, 2014.

TELES, J. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; ANDOGNINI, J.; WARMLING, M. I.; DE OLIVEIRA, B. F. Desenvolvimento de Jiggs em solos de Santa Catarina com diferentes graus de compactação Jiggs development in Santa Catarina soils with different degrees of compaction. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 7, p. 69655-69670, 2021

TORRES, J. L. R.; JUNIOR, D. J. R.; SENE, G. A.; JAIME, D. G.; SILVA VIEIRA, D. M. Resistência à penetração em área de pastagem de capim tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. *Bioscience Journal*, v.28, p.232-239, 2012.

VECCHIO, M. C.; GOLLUSCIO, R. A.; RODRÍGUEZ, A. M.; TABOADA, M. A. Improvement of Saline-Sodic Grassland Soils Properties by Rotational Grazing in Argentina. *Rangeland Ecology & Management*, v.71, p.807-814, 2018.

VILELA, H. Pastagem: seleção de plantas forrageiras, implantação e adubação. 2 ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011. p.340.

XU, X.; NIEBER, J. L.; GUPTA, S. C. Compaction effect on the gas diffusion coefficient in soils. Soil Science Society of America Journal, v. 56, n. 5, p. 1743-1750, 1992.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados demonstram a possibilidade da coexistência das atividades agropecuárias com a sustentabilidade. Apesar da literatura, em sua maioria, apresentar piora da qualidade física do solo quando pastejado extensivamente, há possibilidade de encontrar arranjos e dimensionar manejos que permitam a resiliência da área utilizada preservando os recursos naturais e garantindo capacidade de suporte para a atividade desejada, na área, por longo tempo.

É necessário frisar que ainda há muitos estudos a serem feitos sobre técnicas para mitigar a influência do pisoteio animal em áreas pastejadas na região de estudo e aprofundar o conhecimento sobre a ação das forrageiras nesse processo. Contudo, o conhecimento adquirido através de estudos preliminares como esse, podem nortear pesquisadores na busca por resultados cada vez mais concretos.