



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PEDRO HENRIQUE DIAS BATISTA

MONITORAMENTO DO AMBIENTE PASTORIL E ATIVIDADE ANIMAL
NA AGROPECUÁRIA DE PRECISÃO

RECIFE-PE
2021

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

Monitoramento do ambiente pastoril e atividade animal na agropecuária de precisão

Trabalho de tese apresentado a Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador: Gledson Luiz Pontes de Almeida;
Co-orientador: Héilton Pandorfi.

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)

- B333m Batista, Pedro Henrique Dias
 Monitoramento do ambiente pastoril e atividade animal na agropecuária de precisão / Pedro Henrique Dias Batista.
 -2021.
 103 f. : il.
- Orientador: Gledson Luiz Pontes de .
 Coorientador: Heliton .
 Inclui referências.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola,
 Recife, 2021.
1. comportamento animal. 2. impacto ambiental. 3. propriedades físico-hídricas do solo. 4. variabilidade espacial. I. ,
 Gledson Luiz Pontes de, orient. II. , Heliton, coorient. III. Título

CDD 630

PEDRO HENRIQUE DIAS BATISTA

Monitoramento do ambiente pastoril e atividade animal na agropecuária de precisão

Trabalho de tese apresentado a Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola.
sob a orientação do Prof. Dr. Héilton Pandorfi e Gledson Luiz Pontes de Almeida.

Aprovado em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

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

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

Prof. Dr. Airon Aparecido Silva de Melo
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco (UFAPE)

Prof. Dr. Alex Souza Moraes
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Prof. Dr. Victor Wanderley Costa de Medeiros
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

RECIFE-PE
2021

“Agindo Deus nada e ninguém impedirá!”

Geraldo Correia (CMR)

“No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.”

Ayrton Senna

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial, que acompanha meus passos, ilumina o meu caminho e sabe de todas as minhas lutas para realizar meus sonhos.

Aos meus pais, Antônio Dias Pereira e Maria das Dores Batista Pereira, pelo sacrifício feito ao longo da vida para me proporcionar o melhor da vida, que é o conhecimento.

Aos meus irmãos Ytalo Lázaro Dias Batista, João Victor Dias Batista e Maria Victória Dias Batista.

As minhas Avós Maria Ana Batista e Angelina Dias (In Memoriam).

A todos os meus tios e tias, primos e primas por toda amizade, carinho e incentivo.

A Ana Mara Barros Gonçalves por me motivar, acreditar no meu potencial e me apoiar, como disse Machado de Assis “Cada qual sabe amar a seu modo. O modo, pouco importa, o essencial é que saiba amar.”

A Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade e toda estrutura disponibilizada para a realização dos estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFRPE, pela oportunidade de realização do Curso de Doutorado.

Ao professor Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida, pela confiança, pela amizade sem igual e incentivo durante a orientação desse trabalho. Que sempre soube lidar com meu temperamento forte, me tratando sempre como membro da sua família, por isso, estendo esse agradecimento aos seus familiares e a todos que fazem parte da Fazenda Roçadinho.

Ao professor Dr. Heliton Pandorfi, pela convivência amigável ao longo do curso, e pelos valiosos conhecimentos para o enriquecimento da minha tese.

Ao professor Dr. Airon Aparecido Silva de Melo, pelos valiosos conhecimentos para o enriquecimento da minha tese. Por meio do senhor estendo o meu agradecimento a todos os colaboradores que fazem parte da Fazenda Didática da UFRPE.

Ao professor Dr. Alex Souza Moraes, pela disposição e suas valiosas contribuições.

Ao professor Dr. Victor Wanderley Costa de Medeiros, por toda atenção prestada nos momentos da elaboração da tese visando o enriquecimento científico da mesma.

Ao professor Dr. Glauco Estácio Gonçalves, pela colaboração e toda ajuda científica a mim prestada.

A todos os professores e alunos do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola por todos os ensinamentos que fizeram parte da minha formação.

A todo corpo administrativo do programa, coordenador, vice coordenador e secretária, respectivamente Ênio Farias França e Silva, Mário Monteiro Rolim e Nádya Cassemiro.

A todos que fazem parte do Grupo de Pesquisa em Ambiência (GPESA) que de alguma maneira participaram, tornaram-se grandes amigos, pelo convívio, trabalhos de campo e em laboratório. Pelos momentos de companheirismo, troca de experiências, estresse, aprendizado e descontração (que foram muitos): Nicolay Farias, Marcos Vinícius da Silva, Rodes Batista, Taize Cavalcante, Adriel Coutinho, Marco Antônio Silva, Ingrid Bezerra, Maria Eduarda Oliveira, Maria Victoria Neves.

Aos grandes amigos que fiz na capital pernambucana, Renato Paiva de Lima, Daniel da Costa Dantas, Sávio Cavalcante, Luiz Almeida, Jairo Cordeiro, José Ediclesio, Iug Lopes, Thayna Almeida, Roberta Cavalcanti, Fred Mikhail, Frederico Abrãao, Ragiara Primo, Douglas Alberto, Sirleide Menezes, Dayane Lima, Fernanda Andrade, Joz André, Anderson Silva e José Marivaldo.

Aos meus parceiros de Iguatu em Recife, Jhon Lenon Bezerra da Silva e Antonio Gebson Pinheiro, que como dizia Sócrates “Para conseguir a amizade de uma pessoa digna é preciso desenvolvermos em nós mesmos as qualidades que naquela admiramos.”

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa durante todo esse período e auxílio financeiro.

A todos os meus companheiros da época de graduação, Obrigado!

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

RESUMO	1
INTRODUÇÃO.....	3
HIPÓTESES	4
OBJETIVOS.....	4
GERAL.....	4
ESPECÍFICOS	4
CAPITULO I: REVISÃO DE LITERATURA	5
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO	5
COMPORTAMENTO ANIMAL	9
CONFORTO TÉRMICO ANIMAL	11
FISIOLOGIA ANIMAL.....	14
GEOESTATÍSTICA NA AGROPECUÁRIA	15
ANÁLISE MULTIVARIADA NA PECUÁRIA	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CAPITULO II: DINÂMICA DE PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO SOB PASTEJO ROTACIONADO DE BOVINOS	27
RESUMO	27
ABSTRACT	28
INTRODUÇÃO.....	29
MATERIAL E MÉTODOS.....	30
RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
CONCLUSÕES.....	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
CAPITULO III: PLASTICIDADE FENOTÍPICA E RESPOSTAS COMPORTAMENTAIS DE BOVINOS DE LEITE EM PASTEJO ROTACIONADO.....	50
RESUMO	50
ABSTRACT	51
INTRODUÇÃO.....	51
MATERIAL E MÉTODOS.....	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
CONCLUSÕES.....	68

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
----------------------------------	----

CAPITULO IV: MONITORAMENTO DE BOVINOS EM SISTEMA DE PASTEJO ROTACIONADO E SEU EFEITO NA VARIABILIDADE DA DEGRADAÇÃO DO SOLO E DA PASTAGEM	72
RESUMO	72
ABSTRACT	73
INTRODUÇÃO.....	74
MATERIAL E MÉTODOS.....	75
RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

- Figura 1.** Mapa de localização da Fazenda Didática da UFRPE no município de Garanhuns, Pernambuco, Brasil.1 30
- Figura 2.** Croqui da área de pastagem. Pontos de amostragem (○), área de sombra para os animais (●), bebedouro (●), acesso dos bovinos as áreas contiguas (). 31
- Figura 3.** Ciclo de pastejo e período amostral de solo..... 32
- Figura 4.** Ilustração em percentual dos impactos do pastejo, com base nos resultados médios (Tabela 2) em relação a (P0). As direções das setas indicam a redução ou aumento da propriedade do solo. P1 (Após a primeira passagem dos animais), P2 (Após a segunda passagem dos animais e P3 (Após a terceira passagem dos animais) nas camadas 0,00 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 (B). 37
- Figura 5.** Mapas de krigagem da Densidade (Ds - A), Porosidade Total (PT - B), condutividade hidráulica (K_0 - C), Resistência a Penetração (RP - D) e Umidade gravimétrica (U_g – E) do solo, na camada de 0,00 – 0,10 m. ⁰Antes do pastejo, ¹Após a primeira passagem dos animais, ²Após a segunda passagem dos animais, ³Após a terceira passagem dos animais..... 40
- Figura 6.** Mapas de krigagem da Densidade (Ds - A), Porosidade Total (PT - B), Resistência a Penetração (RP - C) e Umidade gravimétrica (U_g – D) do solo, na camada de 0,10 – 0,20 m. ⁰Antes do pastejo, ¹Após a primeira passagem dos animais, ²Após a segunda passagem dos animais, ³Após a terceira passagem dos animais..... 42
- Figura 7.** Dispersão dos scores das duas primeiras variáveis canônicas (Can1 e Can2) para P0 (antes do pastejo), P1 (após a primeira passagem dos animais), P2 (após a segunda passagem dos animais e P3 (após a terceira passagem dos animais) na camada 0,00 – 0,10 m (A) e 0,10 – 0,20 (B). Densidade (Ds), Porosidade Total (PT), Condutividade Hidráulica (K_0), Resistência a Penetração (RP) e Umidade Gravimétrica (U_g) do solo..... 43

CAPÍTULO III

- Figura 1.** Mapa de localização da Fazenda Experimental da UFRPE no município de Garanhuns, Pernambuco, Brasil.. 53
- Figura 2.** Caracterização da precipitação pluviométrica, temperatura de bulbo seco e

velocidade do vento no período de estudo 07/08 à 25/10/2019	54
Figura 3. Croqui da área de pastagem. área de sombra para os animais (●), bebedouro (●), acesso dos bovinos as áreas contiguas (l).....	54
Figura 4. Ciclo de pastejo e período de avaliações..	56
Figura 5. Variação média horária da temperatura de bulbo seco (°C) e da umidade relativa do ar (%) na área de sombra (A) e na pastagem (B). ¹ primeira passagem dos animais no piquete; ² segunda passagem dos animais no piquete e ³ terceira passagem dos animais no piquete..	58
Figura 6. Variação média horária do índice de temperatura e umidade (ITU) na área de sombra e na pastagem. ¹ primeira passagem dos animais no piquete; ² segunda passagem dos animais no piquete e ³ terceira passagem dos animais no piquete.....	59
Figura 7. Variação média horária da entalpia específica (h) na área de sombra e na pastagem. ¹ primeira passagem dos animais no piquete; ² segunda passagem dos animais no piquete e ³ terceira passagem dos animais no piquete.	60
Figura 8. Espacialização da permanência dos animais na área de pastejo, dividida em intervalos horários de 3 horas.	66
Figura 9. Correlação das duas primeiras variáveis canônicas (Can1 e Can2) para P1 (primeira passagem dos animais), P2 (segunda passagem dos animais) e P3 (terceira passagem dos animais). temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa do ar (UR), entalpia específica (h), índice de temperatura e umidade (ITU).	67

CAPÍTULO IV

Figura 1. Mapa de localização da Fazenda Experimental da UFRPE no município de Garanhuns, Pernambuco, Brasil.	75
Figura 2. Croqui da área de pastagem. Pontos de amostragem (), área de sombra para os animais (●), bebedouro (●), acesso dos bovinos as áreas contiguas ().	76
Figura 3. Esquema dos ciclos de pastejo e períodos amostrais do solo.	77
Figura 4. Mapas de krigagem das variáveis na camada de 0,00 – 0,10 m. A - Densidade (Ds); B - Porosidade Ttotal do solo (PT); C – Matéria orgânica (MO); D - Altura de dossel forrageiro (AD). ⁰ antes do pastejo, ¹ após a primeira passagem dos animais, ² após a segunda passagem dos animais, ³ após a terceira passagem dos animais. As	

porcentagens ao lado de cada mapa representam as proporções da área total do piquete referente ao valor indicado na escala..... 79

Figura 5. Mapas de espacialização da percentagem de permanência dos animais na área destinada ao pastejo. Primeira passagem dos animais (A); Segunda passagem dos animais (B); Terceira passagem dos animais (C)... 81

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

- Tabela 1.** Parâmetros estatísticos descritivos, relativos aos atributos físicos do solo nas camadas 0,00 - 0,10 m; 0,10 - 0,20 m durante o ciclo de pastejo..... 35
- Tabela 2.** Parâmetros dos modelos de semivariograma e grau de dependência espacial (GDE), durante ciclo de pastejo 38

CAPÍTULO III

- Tabela 1.** Variação da frequência respiratória (FR, mov min^{-1}); temperatura retal (TR, °C) e temperatura de pelame (TP, °C) dos animais..... 61
- Tabela 2.** Porcentagem de tempo despendido pelos animais em cada atividade. ¹primeira passagem dos animais no piquete; ²segunda passagem dos animais no piquete e ³terceira passagem dos animais no piquete..... 63

CAPÍTULO IV

- Tabela 1.** Parâmetros estatísticos descritivos, relativos aos atributos físicos do solo na camada 0,0 - 0,1 m durante o período de estudo.. 80
- Tabela 2.** Parâmetros dos modelos de semivariograma e grau de dependência espacial (GDE), durante ciclo de pastejo 82

RESUMO

A análise conjunta da interação clima, solo, planta e animal, torna-se imperativa na tomada de decisão associada ao manejo do ambiente pastoril. Objetivou-se com este estudo monitorar o comportamento e a distribuição espacial de bovinos de leite a pasto e avaliar o efeito da intensidade do pisoteio na variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo. A pesquisa foi conduzida na Fazenda didática da Universidade Federal Rural de Pernambuco, região Agreste do estado de Pernambuco, Brasil. Na área demarcou-se um piquete de 50 × 50 m e anexo uma área de sombra e bebedouro de livre acesso aos animais. Utilizaram-se quatro bovinos de leite mestiços (Holandês-Zebu) com taxa de lotação de 3,2 UA ha⁻¹, manejados em sistema de pastejo rotacionado que compreendeu 7 dias de ocupação e 28 dias para descanso da pastagem, assim, realizaram-se três ciclos de pastejo que totalizaram 105 dias de estudo, que se iniciou com o pasto apresentando altura média de 0,60 m. Durante os períodos de pastejo foram registradas nos intervalos de 10 min as variáveis ambientais (umidade relativa do ar, temperatura de bulbo seco, temperatura de globo negro e velocidade do vento); parâmetros fisiológicos dos animais (frequência respiratória, temperatura de pelame e temperatura retal) registrados uma vez a cada ciclo de pastejo das 06h00 às 18h00 em intervalo de 3h; propriedades físico-hídricas do solo (resistência a penetração, densidade do solo e de partículas, porosidade total, umidade e condutividade hidráulica do solo) na qual utilizou-se malha de 6 × 14 m, que totalizou 32 pontos de amostragem. O posicionamento dos bovinos na área de pastejo foi registrado por meio de GPS, fixados por colares no pescoço dos animais e programados para registrar sua localização a cada minuto, durante os períodos de pastejo. A observação visual da atividade comportamental foi realizada uma vez a cada ciclo de pastejo em intervalos de 10 minutos e as respostas quantificadas foram as atividades, andando, ruminando, ócio e os comportamentos ingestivos, comendo e bebendo. O comportamento dos animais foi determinado pela frequência dos eventos e sua probabilidade de ocorrência pelo teste qui-quadrado (X²) e sua associação com as variáveis meteorológicas e fisiológicas pela análise multivariada canônica. A avaliação da variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo foi realizada por meio da geoestatística, estatística descritiva e multivariada. As coordenadas registradas pelo GPS foram submetidas a análise de densidade de Kernel. De acordo com a análise multivariada canônica, o teste de qui quadrado e a variação dos padrões fisiológicos, os animais mesmo em situação de maior desafio térmico, apresentaram respostas fisiológicas dentro das condições consideradas normais, no entanto, reduziram a atividade de pastejo (comendo) nos horários mais quentes e aumentaram as atividades de ruminação e ócio.

Os atributos físicos do solo apresentaram coeficiente de variação entre baixa e média e, forte dependência espacial em todos os períodos de pastejo. A análise multivariada canônica indicou modificação nas propriedades físicas do solo, principalmente após a segunda passagem dos animais no piquete, o que promoveu o aumento da resistência à penetração e da densidade do solo e, redução da condutividade hidráulica e da porosidade total. A aplicação da tecnologia GPS forneceu dados úteis de monitoramento dos animais e a junção dessas informações com os dados de solo e da pastagem permitiu estabelecer os locais de preferência dos animais no piquete e identificação de áreas de super e subpastejo.

Palavras chaves: comportamento animal, impacto ambiental, propriedades físico-hídricas do solo, variabilidade espacial

1. INTRODUÇÃO

Com um efetivo de 221,81 milhões de cabeças em 2018, o Brasil detém o maior rebanho bovino do mundo. O estado de Pernambuco abrange a quarta colocação entre os estados com maior rebanho na região Nordeste, com destaque para a Mesorregião Agreste que tem a pecuária de leite como a atividade de maior relevância na região (ABIEC, 2018). Contudo, o pisoteio animal e o desconforto térmico, apresentam-se, respectivamente, como um dos principais agentes causadores da compactação do solo e da redução da produtividade animal, relacionados à degradação física do solo e da pastagem e aos fatores climáticos locais (PULIDO et al., 2018; GABBI et al., 2017).

A análise do monitoramento do comportamento de bovinos a pasto, em conjunto, com observações meteorológicas, pastoris e de atributos físico-hídricos do solo, torna-se imperativo na tomada de decisões associada ao manejo do ambiente pastoreado, a partir dessas informações pode-se identificar e delimitar áreas de preferência, regiões compactadas e degradadas, o que permite a adequação do manejo de forma mais precisa. Assim, o monitoramento animal ganha relevância na opção pela genética e categoria dos animais, disposição espacial de sombra, saleiros, comedouros, bebedouros e outros, com o objetivo de melhorar o uso dos recursos disponíveis (SERRANO et al., 2018; MORAL et al., 2019).

Portanto, para a região Agreste, ainda se fazem necessários estudos que abordem todo o ambiente pastoril, com o intuito de repassar a comunidade produtora e científica as informações mais consistentes, para auxílio no manejo em todo campo de pastejo.

Contudo, as decisões relacionadas ao manejo, tais como taxa de locação, tempo de ocupação do piquete, período de descanso e revitalização do pasto, podem ter consequências sobre a pressão de pastagem (SALES BAPTISTA et al., 2016). Outro aspecto importante é a seletividade dos animais, ou seja, o pastejo não ocorre de forma homogênea, contudo esse hábito pode resultar na degradação do solo e da pastagem. Além do mais, o comportamento animal pode ser alterado se as condições térmicas do ambiente em que ele está inserido não lhe favorecer (VON MÜLLER et al., 2017; CRAWFORD et al., 2019).

Portanto, no interesse de abordar agropecuária, zootecnia e pastoreio de precisão de forma mais ampla, o referido estudo buscou analisar em conjunto as interações de diferentes variáveis (meteorológicas, atributos físico-hídricos do solo e parâmetros fisiológicos e comportamentais de bovinos de leite), na qual, foram utilizadas tecnologias de monitorização e o emprego de ferramentas estatísticas de análise de dados mais versáteis.

1.1 Hipótese

A interação ambiente pastoril × animal poderá identificar áreas super ou subpastejadas, o conforto ou desconforto térmico dos animais, alterações nos atributos físicos do solo, além de possíveis áreas degradadas pela ação do pastoreio.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Objetivou-se com esta pesquisa monitorar o comportamento e a distribuição espacial de bovinos de leite a pasto, avaliar o efeito da intensidade do pisoteio na variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo e analisar processos de degradação da pastagem.

2.2 Específicos

Por outro lado, os objetivos específicos foram:

- desenvolver um sistema embarcado a partir de placas microcontroladas, para monitorar o posicionamento e o comportamento dos animais;
- avaliar a interação do posicionamento dos animais com a intensidade de pisoteio e seus efeitos na compactação do solo;
- quantificar o tempo despendido pelos animais nas diversas atividades comportamentais durante o período de pastejo;
- caracterizar os efeitos do ambiente térmico nas respostas fisiológicas e comportamentais dos bovinos de leite a pasto.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Propriedades do solo

Um dos caminhos para gerar o aumento na produção agropecuária sem ampliar as áreas produtivas é a conservação do solo. Isto pode ser alcançado com técnicas mais adequadas de manejo, cuja implementação, depende de um melhor entendimento dos mecanismos envolvidos e dos limites que devem ser respeitados para o uso sustentável do sistema produtivo. O monitoramento da qualidade do solo pelos atributos físicos é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas produtivos (VECCHIO et al., 2018).

Com a necessidade de se avaliar as características físicas do solo, os estudos nessas áreas evoluíram expressivamente nos últimos anos, principalmente em áreas cultivadas e sob pastagem (SANDHAGE HOFMANN et al., 2015; MELO et al., 2017). Contudo, estudos sobre a compactação do solo proveniente, na maioria das vezes, da pressão exercida pelo tráfego das máquinas agrícolas, do pisoteio dos animais ou, ainda, dos diferentes sistemas de preparo e manejo, têm sido realizados para caracterizar as modificações físicas do solo. Os parâmetros utilizados comumente são a densidade e a porosidade (MELO et al., 2017), a infiltração de água (FROLLA et al., 2018), a resistência à penetração (FERREIRA et al., 2018) e o teor de água do solo (BATISTA et al., 2019)

Em áreas de pastagens, a pressão exercida pelo casco dos animais geralmente é de maior intensidade nas camadas superficiais do solo, contudo, se faz necessário o manejo de forma eficiente, com a rotação e sem excesso de animais (CIRILO SILVA et al., 2017), levando em consideração a textura e umidade do solo, altura da planta, taxa de lotação e tempo de pastejo.

Desse modo, o pastejo intensivo e o pisoteio animal pode implicar na redução da qualidade física do solo (BORTOLINI et al., 2016), sobretudo pelo aumento da resistência à penetração das raízes e a densidade do solo, com a redução do espaço poroso e da taxa de infiltração de água no solo (BONINI et al., 2016), principalmente quando o mesmo está descoberto (FIDALSKI & ALVES, 2015).

A pressão estática de uma vaca adulta é de 180 kPa e essa pressão pode aumentar de duas a quatro vezes quando o animal está se movendo, pois, nesse movimento o casco do animal aplica maior pressão em menor área de contato. Essas tensões mecânicas podem induzir a deformação da estrutura do solo, aumentar a compactação e, conseqüentemente, alterar as propriedades físico-hídricas do solo (ABDEL MAGID et al., 1987; NEGRÓN et al., 2019). Assim como prejudicar o desenvolvimento das raízes da planta, nesse sentido, se faz necessário

a observância de um crescimento eficiente do sistema radicular para absorver água disponível nas camadas mais inferiores (BARTZEN et al., 2019).

Dentre os atributos mensurados em estudos de propriedades físicas do solo, relacionados a compactação, apresenta a Resistência a Penetração (RP) como excelente indicador de restrição ao crescimento radicular, desde que determinada juntamente com a umidade e a porosidade do solo (BAYAT et al., 2017).

A RP é normalmente quantificada com o uso de penetrômetros, em que o número de impactos providos pelo equipamento a cada dm^{-1} é transformado em resistência dinâmica (MPa) Stolf (2014). Os níveis críticos de resistência para essa situação variam com o tipo de solo e com a espécie cultivada, a maioria dos autores adota a classificação adaptada por Soil Survey Staff (2017); Baixa: $RP < 0,1$ MPa; Moderada: $0,1-2,0$ MPa; Alta: $2,0-4,0$ MPa; Muito Alta: $4,0-8,0$ MPa; Extremamente alta: $RP > 8,0$ MPa.

Reichert et al. (2018) indicam RP superior a 2 MPa como o limite crítico para o desenvolvimento radicular da maioria das culturas anuais, que quando reforçada juntamente com a mensuração da porosidade, densidade e condutividade hidráulica, é possível revelar alterações na estrutura da planta e do solo relacionadas à mobilidade aérea e hídrica.

Conforme Tavares et al. (2014) para melhor obtenção dos resultados da resistência a penetração, a umidade do solo deve encontrar-se na capacidade de campo, já que nesta condição é obtida boa correlação com o crescimento radicular das plantas. O conteúdo de água do solo é geralmente o fator mais importante que influencia na compactação do solo, conforme o solo fica mais úmido, pode atingir o limite de plasticidade, que é o ponto além do qual os cascos dos animais podem deformar o solo (ALAOUI et al., 2018).

Com tal características, a densidade do solo (D_s) é importante para os estudos agrícolas, pela estreita relação com o armazenamento e a movimentação de água e de oxigênio, além de indicar possível compactação do solo, o aumento da densidade também pode reduzir o crescimento da raiz e diminuir a absorção de nutrientes do solo. Valores de densidade associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular situam-se a $1,65 \text{ g cm}^{-3}$ para solos arenosos e $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ para solos argilosos (REINERT et al., 2008).

Guimarães et al. (2016) afirmam que quanto mais elevada for a densidade do solo, menor será a sua porosidade total e a taxa de infiltração de água no solo, logo, o desenvolvimento das plantas sofrerão maior restrição.

Já, a porosidade total do solo representa a fração do solo em volume não ocupada por sólidos. Depende, sobretudo da textura e da estrutura dos solos e normalmente variam em média de 35 a 50% para solos arenosos e de 40 a 60% em argilosos, apenas solos ricos em matéria orgânica apresentam porosidade entre 60 e 80% (RABELO, 2000). A caracterização do sistema poroso é importante nos estudos que envolvem armazenamento e movimento de água no solo

De acordo com Lima et al. (2015) a infiltração de água no solo pode ser considerada como um indicador da qualidade físico-hídrica, por associar fatores que afetam o desenvolvimento das plantas. Dentre esses fatores o aumento da resistência a penetração e da densidade, juntamente com a diminuição da porosidade do solo são responsáveis pelo decréscimo da taxa de infiltração da água no solo (BATISTA et al., 2019) e pelo acréscimo do escoamento superficial das águas de chuvas ou irrigação, o que pode potencializar os processos erosivos (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2014).

Os solos arenosos por apresentarem maior quantidade de macroporos possuem maior taxa de infiltração, diferentemente dos solos argilosos bem estruturados que apresentam menor taxa de infiltração (DI PRIMA et al., 2018).

As estimativas da infiltração de água no solo podem ser obtidas usando o infiltrômetro de duplo cilindro (OWUOR et al., 2018), o permeâmetro de Guelph (GAO et al., 2017) ou os simuladores de chuva (LEITE et al., 2018), sendo o infiltrômetro de duplo cilindro uma das metodologias mais utilizadas (MCLENAGHNET al., 2017; LOPES et al., 2018; PAL & SALASSIE et al., 2018).

O método de Beerkan (HAVERKAMP et al., 1996; LASSABATERE et al., 2006) também vem sendo bastante utilizado (DI PRIMA et al., 2018; LOZANO BAEZ et al., 2019) para determinar os parâmetros hidrodinâmicos em escala local no campo, esse método baseia-se, principalmente, em ensaios de infiltração simplificados e na análise da distribuição dos tamanhos das partículas do solo (HAVERKAMP et al., 1994). Em comparação a outros métodos experimentais, o método Beerkan é eficiente, de baixo custo e de aplicação simples e rápida.

Nesse contexto, Torres et al. (2012) ao analisar as alterações dos atributos físicos em área de pastejo rotacionado, obtiveram nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m médias de 5,87 e 5,64 Mpa; 1,47 e 1,43 g cm⁻³; 43,49 e 43,87%; 50,99 e 132,27 mm h⁻¹; 0,12 e 0,12 cm³ cm⁻³, para resistência a penetração (RP), densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), condutividade hidráulica (Ks) e umidade volumétrica (Uv), para área sem irrigação, respectivamente.

Da mesma forma, Bortolini et al. (2016) observaram três massas de forragem, baixa (1.300 kg MS ha⁻¹), média (1.400 kg MS ha⁻¹) e alta (1.600 kg MS ha⁻¹), além de uma área não pastejada que serviu de controle. Os autores relataram que a porosidade total do solo, a densidade do solo, a condutividade hidráulica saturada não sofreu alterações significativas pelas distintas intensidades de pastejo.

Assim, Ortigara et al. (2014) em avaliação dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho distrófico em três áreas, mata nativa, preparo convencional e pastejo rotacionado, sendo o último com taxa de lotação de 12 UA ha⁻¹, concluíram que o pisoteio intensivo alterou a estrutura do solo, em consequência, ocasionou aumentos nos valores da pressão de pré-consolidação, densidade do solo e resistência à penetração e redução dos índices de compressão, índice de vazios e macroporosidade.

Ao pesquisar os atributos físicos do solo em duas áreas de pastejo (rotacionado e degradado) nas profundidades de 0,00 - 0,05 m e 0,05 - 0,10 m, Cirilo Silva et al. (2017) relataram que a densidade do solo, a resistência do solo à penetração e a porosidade total foram sensíveis a ação do pisoteio animal na superfície, principalmente na camada de 0,00 - 0,05 m.

Sob pastejo rotacionado de braquiária brizanta em solo de textura arenosa e média, Miguel et al. (2009) avaliaram durante 2 anos a variabilidade espacial da infiltração de água do solo em função do pisoteio de bovinos em 6 piquetes com 6 UA ha⁻¹ e período de ocupação de 6 dias e 30 dias para descanso e renovação, conforme os autores após período experimental a taxa de água infiltrada no solo reduziu de 215,40 mm h⁻¹ para 57,50 mm h⁻¹ na camada 0,00 - 0,10 m, totalizando redução de 73,3%.

Com tal característica, Frolla et al. (2018) ao avaliar o pisoteio animal em três diferentes taxas de lotação (controle: 0 UA ha⁻¹, moderada: 160 UA ha⁻¹, pesada: 320 UA ha⁻¹) e textura do solo (argila-arenosa, franco-arenoso e franco-argilo-arenoso), notaram que a maior densidade e resistência a penetração foi verificada no solo franco-arenoso com pesada carga animal, quanto a condutividade hidráulica do solo apresentou respectiva redução de 21 e 19%, para taxas moderada e pesada, quando comparadas ao controle. Os autores concluíram que a densidade aumentou levemente, a resistência mecânica ultrapassou os valores críticos e a condutividade hidráulica e a macroporosidade foram reduzidas.

Ao utilizar parâmetros relacionados a infiltração para avaliar a compactação resultante do pisoteio animal, Tuffour et al. (2014) em 21 dias contínuos de pastejo contínuo e 120 animais em área de 100 x 75 m, observaram redução da PT e K₀ com o incremento da D_s, por fim, os

autores recomendaram que quando possível, a utilização do pastejo rotacionado bem manejado como alternativa para diminuir impactos nas propriedades do solo sob pastagem.

Do mesmo modo, Batista et al. (2019) em estudo das propriedades físico-hídricas do solo na região agreste de Pernambuco, constataram que após 21 dias de pastejo contínuo com 12 UA ha⁻¹ os atributos do solo foram alterados, assim, o incremento da RP e Ds reduziu a PT e a K₀.

Em contraposição, Melo et al. (2017) que estudaram as implicações do pisoteio sobre as propriedades físicas do solo submetido a pastejo rotacionado com diferentes tratamentos de preparo do solo (Nitrogênio mineral em forma ureia, Nitrogênio orgânico como esterco bovino, 50% mineral e 50% de orgânico e controle), apresentaram alteração positiva, após 2 anos de rotação, nos atributos analisados (densidade do solo e porosidade total) que se apresentaram dentro dos limites não impeditivos do sistema radicular.

Bonetti et al. (2015) ao analisarem diferentes taxas de lotação (1,5; 2,5 e 3,5 UA ha⁻¹) em solo de textura argilosa sob pasto de *brachiaria decumbes*, relataram que após 120 de pastejo contínuo, o pisoteio bovino não foi suficiente para compactar o solo nas intensidades de pastejo avaliadas. Entretanto, no presente estudo as condições físicas do solo tiveram mudanças.

3.2 Comportamento animal

O estudo dos padrões de comportamento dos bovinos é importante ferramenta que possibilita diagnosticar possíveis situações de desconforto que possam vir a prejudicar a produtividade e o bem-estar dos animais. Estudos nesse campo geram informações importantes quanto à adaptação a certos agentes estressores, tais como recursos de termorregulação e controle de situações relacionadas ao ambiente em que vive (HILARIO et al., 2017). Portanto, pesquisas voltadas ao comportamento ingestivo animal, também podem proporcionar informações importantes (sistema de criação, dieta, instalações técnicas, estado reprodutivo e doenças) relacionadas ao manejo dos animais (FERREIRA et al., 2017).

Os bovinos normalmente dividem o seu dia de trabalho em períodos alternados de pastejo, ruminação e lazer (ócio), destinando, em média, cerca de um terço do dia ou 8 horas para cada atividade (PEREIRA et al., 2018). Geralmente existem de 3 a 5 períodos de pastejo durante o dia, o maior e mais intenso é realizado depois do amanhecer e antes do entardecer. A maior parte da atividade de pastejo ocorre durante o dia, embora sejam comuns períodos curtos de pastejo noturno. Normalmente existe um período de ruminação após cada período de

ingestão de alimento (pastejo), mas a maior parte da ruminação ocorre durante a noite (OLIVEIRA et al., 2016). Este padrão característico também pode ser alterado por atividades de rotina como ordenha, mudança de piquetes em situações de pastejo rotacionado, qualidade da forragem e, excepcionalmente, por condições extremas de clima, muito embora seja bastante estável na maioria das situações e todos os animais do grupo ou rebanho tendam a seguir o mesmo padrão (LIU et al., 2015).

Inúmeros equipamentos, sensores e métodos são utilizadas para monitorar o comportamento animal, dentre eles o colar Ethosys (SCHEIBE et al., 1998), GIS/GPS (WILLIAMS et al., 2017), acelerômetro e pedômetro (HANSON E CHANGKI MO 2014), bioacústica (DENIZ et al., 2017), câmera gravadora (MASSARI et al., 2015), análise visual (MENDES et al., 2015) e para determinação os parâmetros mais utilizados são a varredura instantânea (ALTMANN, 1974), e nos sensores mais sofisticados que abordaram a identificação automática utilizam-se algoritmos de determinação e ferramentas de aprendizagem de máquinas (CHELOTTI et al., 2016; WILLIAMS et al., 2019).

A literatura traz exemplos de protocolos com observações visuais e eletrônicas em intervalos de um minuto (ZEHNER et al., 2017), cinco minutos (DENIZ et al., 2017), dez minutos (ALMEIDA et al., 2013), 15 minutos (PÉREZ et al., 2017), até meia hora entre observações (GONZAGA NETO et al., 2015), porém, os intervalos de dez minutos são os mais comuns na literatura. A adoção do intervalo de tempo adequado é essencial para a confiabilidade dos resultados obtidos.

O comportamento de bovinos em pastejo é influenciado pelas características estruturais do pasto, que determinam o grau de pastejo seletivo exercido pelos animais, assim como a eficiência da utilização da forragem. Geralmente a pastagem é selecionada pelos bovinos a partir de sua altura, ou nas variações de teores de nutrientes, sendo descartada quando contaminadas com placas de fezes (LIU et al., 2015). Logo, as condições térmicas em que o animal está inserido, também podem alterar o comportamento dos animais.

Ao analisar visualmente o comportamento de vacas Girolando em lactação, na região Agreste do estado de Pernambuco, Almeida et al. (2013) obtiveram o tempo despendido pelos animais pelo teste não paramétrico de qui-quadrado, percentuais de: andando, 6,06%; bebendo, 2,06%; comendo, 15,50%; ruminando, 27,37% e Ócio, 49,00%.

Do mesmo modo Craesmeyer et al. (2017), em estudo do comportamento de vacas lactantes sob sol e sombra (Silvipastoril), observaram o pastoreio, 51,8% foi realizado na área de sombra e 48,2% sob o sol. A ruminação, 67,9% foi exercida sob sombra e 32,1% sob o sol.

E o ócio foi desempenhado em 71,7% do tempo na sombra e em 28,3% no sol. Ainda conforme os autores, o rebanho demonstrou predileção pela área sombreada, logo a mesma cobria somente 25% da área total do piquete.

No entanto, Veit et al. (2018) ao utilizar a bioacústica na avaliação do comportamento em pastejo (iLPF) de novilhas Girolando, bem como sua validação pela observação visual, não obtiveram diferença ($P>0,05$) entre as médias dos tempos (minutos) de pastejo, ruminação e ócio registrados pelos métodos de bioacústica e avaliação visual, sendo, respectivamente de 103 vs 134; 165 vs 130; e 203 vs 233. Conforme os autores a bioacústica demonstrou-se eficiente na detecção automática do comportamento.

Logo, Pérez et al. (2017) em pesquisa relacionada à disposição dos animais no campo de pastejo, utilizando sistema de posicionamento global em novilhos da raça Lídia e destacou preferência dos bovinos ao campo de pastejo das 5h00 às 21h00, ao lago (bebedouro) entre 16h00 e 17h00 e a área de descanso foi mais frequentada das 20h00 até às 3h00.

Ao utilizar uma série de sensores (GPS, acelerômetro e magnetômetro) em um colar preso ao animal, para detecção remota do comportamento e emprego de algoritmo de classificação, González et al. (2015) conseguiram classificar corretamente 85,5% das atividades, em que, forrageamento 38,99%, ócio 19,21%, ruminação 35,64%, andando 2,82% e outras atividades 3,30%. Conforme os autores a metodologia utilizada apresentou maior dificuldade para determinar a ruminação dos bovinos, no entanto, concluem que o monitoramento automático e em tempo real do comportamento com alta capacidade espacial e temporal pode beneficiar a indústrias pecuária e a pesquisa científica.

Em estudo dos padrões comportamentais de bovinos em pastejo, Hilario et al. (2017) através de observações visuais, verificaram que o gado utilizou em média 47% do tempo na atividade de pastejo, 6% em caminhada e 47% na ruminação/descanso. Os autores destacaram que os ruminantes preferiram o pastoreio entre 06h00 e 7h00; 11h00 e 12h00; e 18h00 e 19h00, intercalados por períodos de ruminação/descanso.

3.3 Conforto térmico animal

As altas temperaturas nas zonas tropicais e subtropicais do Brasil apresentam forte influência na produção animal, pois, propiciam ambientes térmicos insatisfatórios para a prática produtiva. Portanto, em ambientes de clima quente pode-se adotar diferentes estratégias para minimizar os efeitos térmicos sobre os animais, duas delas são, utilizar raças que sejam geneticamente mais adaptadas ao ambiente tropical e, ou, alterar o ambiente a fim de reduzir o

estresse térmico pelo calor (DENIZ et al. 2019). Pois, a radiação solar, a velocidade do vento e a umidade do ar, também influenciam o equilíbrio térmico (BRETTAS et al., 2017).

Assim, para determinação do bem-estar térmico de animais, existem vários índices de conforto, índice de temperatura e umidade (THOM, 1959), carga térmica radiante (ESMAY, 1982), entalpia específica (RODRIGUES et al., 2010), entre outros, que facilitam a identificação do estresse térmico de forma eficiente. Estes índices de conforto térmico estabelecem um método para que haja a possibilidade de avaliar um determinado ambiente por meio de modelos matemáticos que contemplam mais de uma variável meteorológica (BRETTAS et al. 2017).

Em geral, para bovinos, as melhores condições climáticas seriam de temperatura entre 10 e 27 °C, umidade relativa do ar entre 60 e 70%, velocidade dos ventos de 1,4 a 2,2 m/s (BAÊTA & SOUZA, 2010), ITU (Índice de Temperatura e Umidade) abaixo de 72 (ARMSTRONG, 1994) e entalpia menor que 67,4 KJ kg⁻¹ (ALMEIDA et al., 2011). Nessas condições, o corpo do animal mantém-se em homeotermia, com o mínimo de esforço do sistema termorregulador.

Outro fator importante é a capacidade da espécie em se adaptar às condições ambientais (ALMEIDA et al., 2011). De acordo com West (1999) independente das condições climáticas, o estresse térmico só pode ser configurado quando o animal não consegue dissipar calor suficientemente para manter sua homeotermia. Portanto, o estresse térmico em vacas leiteiras não influencia somente as perdas de produtividade, mas também altera o comportamento, como por exemplo aumentando sua busca por sombra e água (ALMEIDA et al., 2011).

Nesse sentido, Brettas et al. (2017) ao utilizarem novilhas leiteiras mestiças para verificar diversos índices de estresse térmico, obtiveram ao logo do estudo médias de temperatura de bulbo seco (°C) de 29,96 ± 1,66, umidade relativa (%) 50,51 ± 6,74 e velocidade do vento (m s⁻¹) 0,11 ± 0,26, assim, o ITU apresentou média de 79,10 ± 1,85, o índice carga térmica média 103,34 ± 6,06 e o índice de temperatura equivalente (ITE) 31,31 ± 1,54. Ao final os autores concluíram que o ITU se apresentou como o melhor para avaliar uma situação de estresse por calor para novilhas leiteiras mestiças criadas no município de Uberlândia, Triângulo Mineiro.

Em estudo realizado no Agreste pernambucano Barnabé et al. (2015) encontraram os maiores valores de temperatura do ar durante o intervalo das 12h00 e 14h00, que apresentou média de 32 °C, registrada em abrigo meteorológico, além de ITU e h de 71,8 e 58,9 KJ kg⁻¹, respectivamente.

Alhussien & Dang (2018) ao pesquisarem o impacto das diferentes estações do ano na qualidade do leite bovino em três raças (Sahiwal, Gir e Tharparkar), registraram valores médios na época do inverno, Tbs de 14,70 °C, UR de 54,64%, ITU de 57,39; na época quente e seca, Tbs de 31,38 °C, UR de 40,48%, ITU de 76,34 e, na época quente e úmida, Tbs de 29,39 °C, UR de 81,48%, ITU de 82,02. Em conjunto foram realizadas análises do leite (contagem de células somáticas, cortisol e proteínas). Os autores concluíram que apesar das vacas em estudo apresentarem fácil adaptação a climas tropicais, ambas as raças sofreram para dissipar calor, principalmente quando submetidas ao período quente e úmido, o que diminuiu a produção e reduziu a qualidade do leite.

Do mesmo modo, Habeeb et al. (2018) observaram durante 6 meses o estresse térmico de vacas de leite, tendo a média da Tbs variado de 20 °C na época mais fria a 40 °C no período quente, conforme os autores a exposição dos animais ao estresse térmico provocaram uma série de modificações nas funções biológicas, que incluem, diminuição no consumo de ração, aumento no consumo de água, mudanças de comportamento, redução de atividades enzimáticas, secreções hormonais e metabolitos sanguíneos, que afetaram o desempenho produtivo e reprodutivo.

Da mesma forma, em estudo do comportamento ingestivo diurno de vacas Girolando, na região da zona da mata no estado Pernambucano, Silva et al. (2011) indicaram que o tempo de pastejo dos animais apresentou correlação negativa com o tempo de ruminação, de ócio e os índices de conforto, ou seja, as vacas diminuíram a atividade de pastejo quando submetidas a maior estresse térmico, aumentando assim a atividade de ruminação e ócio.

Entretanto, Jara et al. (2016) em estudo do comportamento e desempenho de vacas leiteiras no verão, alcançaram valores de Tbs de 36,2 °C, radiação solar de 831,90 w m⁻² e ITU, entre 12h00 e 18h00, que ultrapassou o limite de 72. De acordo com os autores o período de estudo (Janeiro/2013) foi registrado os mais altos valores de temperatura na região, o que incidiu na maior carga de calor sobre as vacas, que aumentaram suas taxas de respiração, o uso de sombra (+6,3%) e o consumo de água e, reduziram o tempo de pastejo (-9,4%) e a ruminação (-5,4%), no entanto, a produção diária de leite não mostrou diferenças. Logo, os pesquisadores concluíram que embora as vacas tenham mostrado sinais de estresse por calor, elas foram capazes de lidar com as condições climáticas adversas do verão no sul do Chile.

3.4 Fisiologia animal

Em climas quentes, o desconforto térmico geralmente altera os padrões fisiológicos dos animais, ocasionando mudanças de comportamento e redução da produtividade. Logo, a carga de calor proveniente da combinação da temperatura de bulbo seco, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, fazem com que os bovinos aumentem a ingestão de água e reduzam sua atividade de pastejo. Nessas condições, a Frequência Respiratória (FR), Temperatura Retal (TR) e a Temperatura de Pelame (TP), tendem a sofrer alterações, portanto, tais parâmetros fisiológicos são altamente correlacionados aos indicadores de estresse térmico. Assim, o fornecimento de sombra é geralmente considerado como uma das estratégias de prevenção mais eficientes em pastagens (VEISSIER et al., 2018).

Segundo Barnabé et al. (2015) animais submetidos ao estresse térmico demonstram aumento da FR. Portanto, este é um sinal de que os animais intensificaram os processos latentes de perda de calor na tentativa de manter a temperatura corporal dentro da normalidade fisiológica, uma vez ofegante, o bovino inicia a troca de calor pela evaporação de umidade do trato respiratório. As variações de temperatura retal podem ser influenciadas por fatores extrínsecos (hora do dia, ingestão de alimentos e de água, temperatura ambiental, velocidade do vento, estação do ano) e também por fatores intrínsecos (idade, raça e estado fisiológico). Para rebanhos leiteiros os intervalos considerados normais variam de 38,0 a 39,3 °C (ROBERTSHAW, 2006).

Segundo Hahn et al. (1997), a frequência de 60 mov min⁻¹ indica animais com ausência de estresse térmico ou que este é mínimo; mas, quando esta frequência ultrapassa 120 mov min⁻¹ reflete carga excessiva de calor e, acima de 160 mov min⁻¹, medidas de emergência devem ser tomadas, como, por exemplo, molhar os animais.

A temperatura de pelame (TP) depende principalmente das condições ambientais de umidade, temperatura do ar, vento e das condições fisiológicas, como vascularização e evaporação pelo suor. Assim, a temperatura de superfície contribui para a manutenção da temperatura corporal mediante trocas térmicas com o ambiente em temperaturas amenas (ALMEIDA et al., 2016).

Para muitos pesquisadores a FR, TR e TP são consideradas as melhores referências fisiológicas para estimar a tolerância dos animais ao calor (BARNABÉ et al., 2015; ALMEIDA et al., 2016).

Nesse contexto, Santos et al. (2018) em estudo da resposta fisiológica de bovinos de leite em diferentes épocas do ano, alcançaram no outono e na primavera valores médios para

FR, TR e TP de 30,3 e 33,2 $\text{mov}\cdot\text{min}^{-1}$, 38,17 e 38,17 °C e 30,3 e 33,7 °C, respectivamente. Conforme os autores, as variáveis ambientais nas duas estações do ano não promoveram grandes alterações nas respostas fisiológicas e produtivas dos animais, indicando adaptação destes às condições climáticas do ambiente de criação.

Do mesmo modo, Cruz et al. (2016) que observaram a fisiologia de bovinos em Tapira-MG, obtiveram para vacas Holsteingyr (7/8H 1/8G) valores médios para FR, TR e TP de 39,2 $\text{mov}\cdot\text{min}^{-1}$, 38,9 °C e 30,9 °C, respectivamente. Portanto, as condições climáticas da localidade estiveram dentro da zona de termoneutralidade (Tbs 21,66 °C e UR 70%), ou seja, as vacas não sofreram estresse térmico e os animais apresentaram características de termorregulação.

Logo, Almeida et al. (2016) em pesquisa da eficiência térmica de abrigos individuais para bovinos jovens na região Agreste de Pernambuco, observaram que os bezerros Girolando submetidos a cobertura de palha apresentaram, às 8h00 e 14h00, valores médios para FR, TR e TP de 50,1 e 66,0 $\text{mov}\cdot\text{min}^{-1}$, 38,7 e 39,1 °C e 33,2 e 35,8 °C, respectivamente. Conforme os autores, os abrigos com cobertura de palha apresentaram-se eficientes, levando em consideração a Tbs e CTR, no entanto, no período da tarde os animais aumentaram a TR, como expressão do desequilíbrio térmico dos animais.

Conforme Veissier et al. (2018), que avaliaram o benefício da sombra para vacas em pastagem na região de clima temperado, constataram que no período do verão o uso de malha sombreada baixou a temperatura do globo negro em 4,5 °C e a temperatura do ar em 2,0 °C. Para os autores a sombra auxiliou os animais a se manterem na zona de conforto térmico, mesmo tendo desencadeando reações adaptativas, como mudanças na respiração.

3.5 Geoestatística na agropecuária

A geoestatística é uma ferramenta poderosa para determinar a variabilidade espacial, logo, a técnica é fundamentada em funções matemáticas e estatísticas relacionadas com interpolação de dados. Esta técnica prevê pontos desconhecidos baseados na autocorrelação e sua estrutura espacial de pontos medidos (WANI et al., 2017).

Nesse contexto, apresenta-se como excelente ferramenta no estudo da variabilidade das propriedades do solo, uma vez que, o solo é um sistema heterogêneo, diversificado e dinâmico e a investigação de suas mudanças temporais e espaciais são primordiais (BRITO et al., 2018), assim, com a utilização da geoestatística é possível modelar e estudar a estrutura de dependência espacial dos atributos do solo, por meio do ajuste de semivariogramas experimentais. O semivariograma permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno

regionalizado no espaço, dividido em três parâmetros, alcance, patamar e efeito pepita, podendo ser ajustado em diversos modelos, em que, os mais utilizados são o exponencial, esférico e gaussiano (MANZIONE & ZIMBACK, 2011).

De acordo com Cambardella et al. (1994) o modelo de melhor ajuste para descrever o comportamento dos atributos do solo é o esférico, o que não restringi a utilização de outro padrão. O autor ainda classificou o Grau de Dependência Espacial (GDE) como forte quando os semivariogramas têm um efeito pepita <25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca >75%.

A partir dos resultados amostrais é possível gerar uma superfície contínua, expressa por mapas, por meio de métodos (algoritmos) de interpolação. O mais utilizado é a krigagem, que expressa a dependência espacial, oriunda do semivariograma, entre as amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição no campo. Os métodos de krigagem não usam tendências e têm mínima variação, o que os torna excelente para estimar a distribuição espacial (MORAL et al., 2019).

Nesse cenário, Batista et al. (2019) no estudo da variabilidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo sob pisoteio bovino na região agreste de Pernambuco, observaram que o modelo esférico melhor se ajustou aos semivariogramas para os dados de todas as propriedades mensuradas, nas quais, apresentaram forte dependência espacial e com o auxílio da krigagem os pesquisadores concluíram que os atributos físicos do solo foram modificados após o período de pastejo.

Do mesmo modo, Guimarães et al. (2016) que avaliaram a variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens, constataram que dentre os doze semivariogramas ajustados, metade foram esférico, quatro gaussiano, um exponencial e um circular. No entanto, a dependência espacial (GDE) predominante foi moderada.

Brito et al. (2018) observaram que o modelo exponencial e esféricos apresentaram os maiores coeficientes de determinação (r^2) para os atributos físicos determinados na área de pastagem, no entanto, o GDE variou entre fraca e moderada.

Dessa forma, Moral et al. (2019) indicam que o conhecimento da variabilidade espacial do solo e da pastagem tornam-se importantes no seu manejo, o que pode contribuir com informações mais precisas para o planejamento e maximizar os rendimentos, visto que, o pastejo não ocorre de forma homogênea e podem apresentar alta variabilidade espacial.

3.6 Análise multivariada de dados

A estatística multivariada possibilita definir a estrutura de covariância de padrões complexos das variáveis a serem analisadas. Na quais, podem resumir as relações entre muitas características com um número menor de novas variáveis explicativas e permitir a simplificação da interpretação do sistema multivariado original (MELE et al., 2016).

Portanto, ao se mensurar inúmeras variáveis em pesquisas, o preceito da multivariada é responder de forma consistente quais as componentes que melhor explicam a situação exigida no estudo, sintetizando as informações de um grande conjunto de características aleatórias e correlacionadas em um conjunto reduzido de variáveis latentes, não correlacionadas, geradas como combinações lineares do conjunto de dados original. (FERNANDES JÚNIOR et al., 2018).

Uma das técnicas da estatística multivariada que se mostra bastante eficiente é a Análise de Componentes Principais (ACP), extraída das combinações lineares de variáveis originais com o objetivo de explicar a quantidade máxima de variância (SORBOLINI et al., 2016). Para Macciotta et al. (2012) a técnica multivariada é adequada para avaliar estruturas de correlação que envolvem variáveis relacionadas a vacas leiteiras, principalmente as relativas ao leite.

Nesse contexto, Fraga et al. (2016) utilizaram análise multivariada para avaliar grupos genéticos e características de produção de vacas mestiças Holandês × Zebu e verificaram que as duas componentes principais explicaram 89,4% da variação total, com a ajuda da técnica os autores constataram que nas condições ambientais e de manejo do estudo, os melhores desempenhos para as características consideradas foram obtidos de vacas cuja proporção genotípica estava entre 38,0 e 94,0% de material genético da raça Holandesa.

Da mesma maneira, Daltro et al. (2017) observaram a eficiência da termografia infravermelha no reconhecimento de vacas leiteiras em estado de estresse térmico e sua relação com os parâmetros fisiológicos (temperatura retal, frequência respiratória, frequência cardíaca) e índices de conforto. Conforme os autores, para o período da manhã, os resultados do primeiro e segundo fatores principais explicaram 41,82% da variação total e a tarde os dois principais fatores corresponderam a 57,66% da variação total entre características fisiológicas e termográficas. Ao final concluíram que a região lateral do úbere é o melhor local para identificar o estresse térmico das vacas usando termografia, logo, a mesma apresentou grande relação com a temperatura retal.

Assim como, Gabbi et al. (2017) ao avaliarem os impactos na produção de leite em função de variáveis meteorológicas, averiguaram que os dois fatores principais explicaram 95%

da variância total, evidenciando que quando variáveis meteorológicas atingem valores extremos, por calor ou frio, a produção de leite das vacas foi afetada, logo, no verão o ITU se correlacionou negativamente com a produção leiteira.

A utilização da técnica ainda inclui estudos sobre as características reprodutivas em bovinos (VARGAS et al., 2018), o perfil estrutural e energético de fazendas leiteiras (TODDE et al., 2016) e, comportamento ingestivo de vacas de leite a pasto (AL-MARASHDEH et al., 2018).

REFERÊNCIAS

Abdel Magid, A. H.; Trlica, M. J.; Hart, R. H. Soil and vegetation responses to simulated trampling. **Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives**, v. 40, p. 303-306, 1987.

Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. ABIEC. Perfil da pecuária no Brasil: Relatório anual 2018. Disponível em: <<http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

Alaoui, A.; Rogger, M.; Peth, S.; Blöschl, G. Abdallah et al. Does soil compaction increase floods? A review. **Journal of hydrology**, v. 557, p. 631-642, 2018.

Al-Marashdeh, O.; Gregorini, P.; Maxwell, T. M.; Cheng, L.; Beltrán, I. E.; Hussein, A. N.; Chen, A.; Guinot, L.; Hodge, S.; Cameron, K. C.; Edwards, G. R. Short-term grazing and urination behaviour of dairy cows differing in their genetic merit. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.61, p.1-8, 2018.

Almeida, G. L.; Pandorfi, H.; Guiselini, C.; Henrique, H. M.; Almeida, G. A. Uso do sistema de resfriamento adiabático evaporativo no conforto térmico de vacas da raça girolando. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.754-760, 2011.

Almeida, G. L. P; Pandorfi, H.; Barbosa, S. B.; Pereira, D. F.; Guiselini, C.; Almeida, G. A. Behavior, production and milk quality of Holstein-Gir cows under acclimatization in the corral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.892-899, 2013.

Almeida, G. L.; Pandorfi, H.; Baptista, F.; Guiselini, C.; Barnabé, J. Thermal efficiency of individual shelters for girolando calves in brazilian semi-arid regions. **Engenharia Agrícola**, v.36, p.13-23, 2016.

Altmann, J. Observational study of behavior sampling methods. **Behaviour**, v.49, p.227-267, 1974.

Alhussien, M. N.; & Dang, A. K. Impact of different seasons on the milk somatic and differential cell counts, milk cortisol and neutrophils functionality of three Indian native breeds of cattle. **Journal of thermal biology**, v.78, p.27-35, 2018.

Armstrong, D.V. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of Dairy Science**, v.77, p.2044-2050, 1994.

Baêta, F. C.; & Souza, C. F. *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. 2.ed. Viçosa: UFV, 2010. 269p.

Batista, P. H. D.; Almeida, G. L. P.; Pandorfi, H.; Tavares, U. E.; Melo, A. A. S.; Guiselini, C. Spatial variability of soil physical-hydric attributes under bovine trampling in agreste of Pernambuco State, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.41, e39594, 2019.

Barnabé, J.M.C.; Pandorfi, H.; Almeida, G.L.P; Guiselini, C.; Jacob, A.L. Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.481-488, 2015.

Bartzen, B. T.; Hoelscher, G. L.; Ribeiro, L. L. O.; Seidel, E. P. How the Soil Resistance to Penetration Affects the Development of Agricultural Crops?. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-17, 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.

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.

Bonini, C. D. S. B.; Lupatini, G. C.; Andrighetto, C.; Mateus, G. P.; Heinrichs, R.; Aranha, A. S.; Santana, E. A. R.; Meirelles, G. C. Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1695-1698, 2016.

Bortolini, D.; Albuquerque, J. A.; Rech, C.; Mafra, Á. L.; Ribeiro Filho, H. M. N.; Pértile, P. Propriedades físicas do solo em sistema de integração lavoura-pecuária em Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.15, p.60-67, 2016.

Brettas, P. K. M.; Nascimento, M. R. B. M.; Guimarães, E. C.; Souza, G. P. Most Appropriate Heat Stress Index for Half-blood Dairy Heifers. **Acta Scientiae Veterinariae**, v.45, p.1-8, 2017.

Brito, W. B. M.; Campos, M. C. C.; Mantovanelli, B. C.; Cunha, J. M.; Francison, U.; Soares, M. D. R. Spatial variability of soil physical properties in Archeological Dark Earths under different uses in southern Amazon. **Soil and Tillage Research**, v.182, p.103-111, 2018.

Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

Chelotti, J. O.; Vanrell, S. R.; Milone, D. H.; Utsumi, S. A.; Galli, J. R.; Rufiner, H. L.; Giovanini, L. L. A real-time algorithm for acoustic monitoring of ingestive behavior of grazing cattle. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.127, p.64-75, 2016.

Cirilo Silva, B. E.; Medina, E. F.; Jolomba, M. R. Propriedades físicas do solo em função de diferentes manejos de pastagem. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.7, p.66-75, 2017.

Craesmeyer, K. C.; Schmitt Filho, A. L.; Hotzel, M. J.; Deniz, M. Utilização da Sombra por Vacas Lactantes sob Sistema Voisin Silvopastoril no Sul do Brasil. **Cadernos de Agroecologia**, v.11, p.1-6, 2017.

Crawford, C. L.; Volenec, Z. M.; Sisanya, M.; Kibet, R.; Rubenstein, D. I. Behavioral and Ecological Implications of Bunched, Rotational Cattle Grazing in East African Savanna Ecosystem. **Rangeland Ecology & Management**, v.72, p.204-209, 2019.

Cruz, P. F. F.; Monteiro, C. P.; Guimarães, E. C.; Antunes, R. C.; Mattos Nascimento, M. R. B. Physiological parameters, hair coat morphological characteristics And temperature gradients In Holstein-Gyr crossbred cows. **Bioscience Journal**, v.32, p.471-477, 2016.

Daltro, D. D. S.; Fischer, V.; Alfonzo, E. P. M.; Dalcin, V. C.; Stumpf, M. T.; Kolling, G. J.; Silva, M. V. G. B.; McManus, C. Infrared thermography as a method for evaluating the heat tolerance in dairy cows. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.46, p.374-383, 2017.

Deniz, M.; Schmitt Filho, A. L.; Farley, J.; Quadros, S. F.; Hötzel, M. J. High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. **International journal of biometeorology**, v.63, p.83-92, 2019.

Deniz, N. N.; Chelotti, J. O.; Galli, J. R.; Planisich, A. M.; Larripa, M. J.; Rufiner, H. L.; Giovanini, L. L. Embedded system for real-time monitoring of foraging behavior of grazing cattle using acoustic signals. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.138, p.167-174, 2017.

Di Prima, S.; Concialdi, P.; Lassabatere, L.; Angulo-Jaramillo, R.; Pirastru, M.; Cerda, A.; Keesstra, S. Laboratory testing of Beerkan infiltration experiments for assessing the role of soil sealing on water infiltration. **Catena**, v.167, p.373-384, 2018.

Esmay, M. L. Principles of animal environment. Westport: Avi, 1982, 325p.

Fernandes Júnior, G. A.; Garcia, D. A.; Hortolani, B.; Albuquerque, L. Phenotypic relationship of female sexual precocity with production and reproduction traits in beef cattle using multivariate statistical techniques. **Italian Journal of Animal Science**, v.17, p.1-7, 2018.

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, L. M.; Hervás, G.; Belenguer, A.; Celaya, R.; Rodrigues, M. A. M.; García, U.; Frutos, P.; Osoro, K. Comparison of feed intake, digestion and rumen function among domestic ruminant species grazing in upland vegetation communities. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v.101, p.846-856, 2017.

Fidalski, J.; & Alves, S. J. Grazing Height of Brachiaria and Stocking Rate Limited by Soil Physical Properties Three Years Into an Integrated Soybean Crop-Livestock System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.864-870, 2015.

Fraga, A. B.; Lima Silva, F.; Hongyu, K.; Santos, D. D. S.; Murphy, T. W.; Lopes, F. B. Multivariate analysis to evaluate genetic groups and production traits of crossbred Holstein× Zebu cows. **Tropical animal health and production**, v.48, p.533-538, 2016.

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, e00177, 2018.

Gabbi, A. M.; Peripolli, V.; Cobuci, J. A.; Fischer, V.; Costa Jr, J. B. G.; McManus, C. Can meteorological variables affect milk production in different lactation orders of dairy cows in the Cfb climatic zone? A case study in Southern Brazil. **Archivos de zootecnia**, v.66, p.271-278, 2017.

Gao, Z.; Niu, F.; Wang, Y.; Luo, J.; Lin, Z. Impact of a thermokarst lake on the soil hydrological properties in permafrost regions of the Qinghai-Tibet Plateau, China. **Science of the Total Environment**, v.574, p.751-759, 2017.

Gonzaga Neto, S.; Oliveira, R. L.; Lima, F. H. S.; Medeiros, A. N.; Bezerra, L. R.; Viégas, J.; Nascimento Júnior, N. G.; Freitas Neto, M. D. Milk production, intake, digestion, blood parameters, and ingestive behavior of cows supplemented with by-products from the biodiesel industry. **Tropical animal health and production**, v.47, p.191-200, 2015.

González, L. A.; Bishop-Hurley, G. J.; Handcock, R. N.; Crossman, C. Behavioral classification of data from collars containing motion sensors in grazing cattle. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.110, p.91-102, 2015.

Guimarães, W. D.; Junior, J. G.; Marques, E. A. G.; Santos, N. T.; Fernandes, R. B. A. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, p.247-255, 2016.

Habeeb A, G. A.; EL-Tarabany, A.; Atta, M. Negative effects of heat stress on growth and milk production of farm animals. **Journal of Animal Husbandry and Dairy Science**, v.2, p.1-12, 2018.

Haverkamp, R.; Arrúe, J. L.; Vandervaere, J. P.; Braud, I.; Boulet, G.; Laurent, J. P.; Taha, A.; Ross, P. J.; Angulo-Jaramillo, R. Hydrological and thermal behaviour of the vadose zone in the area of Barrax and Tomelloso (Spain): Experimental study, analysis and modeling. Project UE n. EV5C-CT, v. 92, p.00-90, 1996.

Haverkamp, R.; Ross, P. J.; Smettem, K. R. J.; Parlange, J. Y. Three dimensional analysis of infiltration from the disc infiltrometer: 2. Physically based infiltration equation. **Water Resources Research**, v.30, p.2931-2935, 1994.

- Hahn, G. L.; Parkhurst, A. M.; Gaughan, J. B. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. **Transactions of American Society of Agricultural Engineering**, v.40, p.97-121, 1997.
- Hanson, D.; & Mo, C. Monitoring cattle motion using 3-axis acceleration and GPS data. **Journal of Research in Agriculture and Animal Science**, v.2, p.1-8. 2014.
- Hilario, M. C.; Wrage-Mönnig, N.; Isselstein, J. Behavioral patterns of (co-) grazing cattle and sheep on swards differing in plant diversity. **Applied Animal Behaviour Science**, v.191, p.17-23. 2017.
- Jara, I. E.; Keim, J. P.; Arias, R. A. Behaviour, tympanic temperature and performance of dairy cows during summer season in southern Chile. **Archivos de Medicina Veterinaria**, v.48, p. 113-118, 2016.
- Liu, J.; Feng, C.; Wang, D.; Wang, L.; Wilsey, B. J.; Zhong, Z. Impacts of grazing by different large herbivores in grassland depend on plant species diversity. **Journal of Applied Ecology**, v.52, p.1053-1062, 2015.
- Lassabatere, L.; Angulo-Jaramillo, R.; Soria Ugalde, J. M.; Cuenca, R.; Braud, I., Haverkamp, R. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments—BEST. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.521-532, 2006.
- Leite, P. A.; de Souza, E. S.; dos Santos, E. S.; Gomes, R. J.; Cantalice, J. R.; Wilcox, B. P. The influence of forest regrowth on soil hydraulic properties and erosion in a semiarid region of Brazil. **Ecohydrology**, v.11, e1910, 2018.
- Lima, F. V.; Silva Silvino, G.; Souza Melo, R. S.; Lira, E. C.; Souza Ribeiro, T. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo em área de encosta sob processo de degradação. **Revista Caatinga**, v.28, p.53-63 2015.
- Lopes, E.; Marenzi, R. C.; Almeida, T. C. M. D. Comparison of soil use in the infiltration of rainwater: pasture and forest. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v.71, p.8593-8600, 2018.
- Lozano Baez, S.; Cooper, M.; Frosini de Barros Ferraz, S.; Ribeiro Rodrigues, R.; Castellini, M.; Di Prima, S. Recovery of Soil Hydraulic Properties for Assisted Passive and Active Restoration: Assessing Historical Land Use and Forest Structure. **Water**, v.11, p.86-103, 2019.
- Macciotta, N. P. P.; Cecchinato, A.; Mele, M.; Bittante, G. Use of multivariate factor analysis to define new indicator variables for milk composition and coagulation properties in Brown Swiss cows. **Journal of dairy science**, v.95, p.7346-7354, 2012.
- Massari, J. M.; Curi, T. M. R.; Moura, D. J.; Medeiros, B. B. L.; Salgado, D. D. A. Behavioral characteristics of different gender division of growing and finishing swine in “Wean to Finish” system. **Engenharia Agrícola**, v.35, p.646-656, 2015.
- McLenaghan, R. D.; Malcolm, B. J.; Cameron, K. C.; Di, H. J.; McLaren, R. G. Improvement of degraded soil physical conditions following the establishment of permanent pasture. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, v.60, p.287-297, 2017.

Manziona, R. L.; & Zimback, C. R. L. Análise espacial multivariada aplicada na avaliação da fertilidade do solo. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.19, p.227-235, 2011.

Mele, M.; Macciotta, N. P. P.; Cecchinato, A.; Conte, G.; Schiavon, S.; Bittante, G. Multivariate factor analysis of detailed milk fatty acid profile: Effects of dairy system, feeding, herd, parity, and stage of lactation. **Journal of dairy science**, v.99, p.9820-9833, 2016.

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.

Mendes, F. B. L.; Silva, R. R.; Carvalho, G. G. P.; Silva, F. F.; Lins, T. O. J. D.; Silva, A. L. N.; Macedo, V.; Abreu Filho, G.; Souza, S. O.; Guimarães, J. O. Ingestive behavior of grazing steers fed increasing levels of concentrate supplementation with different crude protein contents. **Tropical animal health and production**, v.47, p.423-428, 2015.

Miguel, F. R. M.; Vieira, S. R.; Grego, C. R. Variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.1513-1519, 2009.

Moral, F. J.; Rebollo, F. J.; Serrano, J. M. Estimating and mapping pasture soil fertility in a portuguese montado based on a objective model and geostatistical techniques. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.157, p.500-508, 2019.

Negrón, M.; López, I.; Dörner, J. Consequences of intensive grazing by dairy cows of contrasting live weights on volcanic ash topsoil structure and pasture dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 189, p. 88-97, 2019.

Oliveira Júnior, J. A.; de Souza, E. S.; Correa, M. M.; Lima, J. R. S.; Souza, R. M. S.; Silva Filho, L. A. Variabilidade espacial de propriedades hidrodinâmicas de um Neossolo Regolítico sob pastagem e caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v.18, p.631-639, 2014.

Oliveira, K. M. D.; Castro, G. H. D. F.; Herculano, B. N.; Mourthé, M. H. F., Santos, R. A.; Pires, A. V. Comportamento ingestivo de bovinos leiteiros alimentados com farelo de crambe. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.68, p.439-447, 2016.

Owuor, S. O.; Butterbach-Bahl, K.; Guzha, A. C.; Jacobs, S.; Merbold, L.; Rufino, M. C.; Pelster, D. E.; Díaz-Pinés, E.; Breuer, L. Conversion of natural forest results in a significant degradation of soil hydraulic properties in the highlands of Kenya. **Soil and Tillage Research**, v.176, p.36-44, 2018.

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.

Pal, D.; & Selassie, Y. G. Soil physicochemical properties and their significance for sustainable sugarcane production in Kesem Allaideghe plains irrigation project area, Eastern Ethiopia. **Ethiopian Journal of Science and Technology**, v.11, p.19-28, 2018.

Pereira, K. C. B.; Carvalho, C. D. C. S.; Ruas, J. R. M.; Menezes, G. C. D. C.; Castro, A. L. D. O.; Costa, M. D. D. Effect of the climatic environment on ingestive behavior of F1 Holstein x Zebu cows. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.19, p.207-215, 2018.

Pérez, J. M. L.; de la Varga, M. E. A.; García, J. J.; Lacasa, V. R. G. Monitoring lidia cattle with GPS-GPRS technology; a study on grazing behaviour and spatial distribution. **Veterinaria México OA**, v.4, p.1-17, 2017.

Pulido, M.; Schnabel, S.; Lavado Contador, J. F.; Lozano-Parra, J.; González, F. The impact of heavy grazing on soil quality and pasture production in rangelands of SW Spain. **Land Degradation & Development**, v.29, p.219-230, 2018.

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.

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.

Robertshaw, D. Regulação da temperatura e o ambiente térmico. In: Reece, W. O. Dukes: Fisiologia dos animais domésticos. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, Cap. 55, 2006. 898p.

Rodrigues, V. C.; Silva, I. J. O.; Vieira, F. C.; Nascimento, S. T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, v.55, p.455-459, 2010.

Sandhage Hofmann, A.; Kotzé, E.; Van Delden, L.; Dominiak, M.; Fouché, H. J.; Van der Westhuizen, H. C.; Oomen, R. J.; du Preez, C. C.; Amelung, W. Rangeland management effects on soil properties in the savanna biome, South Africa: A case study along grazing gradients in communal and commercial farms. **Journal of Arid Environments**, v.120, p.14-25, 2015.

Santos, L. V.; Carvalho, C. D. C. S.; Ruas, J. R. M.; Diniz, T. A.; Silva, E. A.; Moreira, S. D. J. M. Impacto do microclima sobre a fisiologia, pelame e produção de leite de vacas lactantes em diferentes estações do ano. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.17, p.368-376, 2018.

Scheibe, K. M.; Schleusner, T.; Berger, A.; Eichhorn, K.; Langbein, J.; Dal Zotto, L.; Streich, W. J. ETHOSYS (R)—new system for recording and analysis of behaviour of free-ranging domestic animals and wildlife. **Applied Animal Behaviour Science**, v.55, p.195-211, 1998.

Sales Baptista, E.; d'Abreu, M. C.; Ferraz Oliveira, M. I. Overgrazing in the Montado? The need for monitoring grazing pressure at paddock scale. **Agroforestry systems**, v.90, p.57-68, 2016.

Serrano, J.; Sales Baptista, E.; Shahidian, S.; Silva, J. M.; Oliveira, I. F.; Castro, J. L.; Pereira, A.; d'Abreu, M. C.; Carvalho, M. Proximal sensors for monitoring seasonal changes of feeding sites selected by grazing ewes. **Agroforestry Systems**, p.1-15, 2018.

Silva, A. M.; Modesto, E. C.; Lira, C. C.; Santos, M. V. F.; Brasil, L. H. A.; Lira, M. D. A.; Mello, A. C. L. Comportamento ingestivo diurno de vacas Girolandas, sob diferentes taxas de lotação. **Archivos de zootecnia**, v.60, p.859-870, 2011.

Soil Survey Staff. (2017). Soil survey manual (USDA Handbook 18). Washington, D.C.: Government Printing Office.

Sorbolini, S.; Gaspa, G.; Steri, R.; Dimauro, C.; Cellesi, M.; Stella, A.; Marras, G.; Marsan, P. A.; Valentini, A.; Macciotta, N. P. P. Use of canonical discriminant analysis to study signatures of selection in cattle. *Genetics Selection Evolution*, v.48, p.48-58, 2016.

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.

Thom, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v.12, p.57-59, 1959.

Todde, G.; Murgia, L.; Caria, M.; Pazzona, A. A multivariate statistical analysis approach to characterize mechanization, structural and energy profile in Italian dairy farms. **Energy Reports**, v.2, p.129-134, 2016.

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.

Tuffour, H. O.; Bonsu, M.; Khalid, A. A. Assessment of soil degradation due to compaction resulting from cattle grazing using infiltration parameters. *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences*, v.2, p.139-149, 2014.

Vargas, G.; Schenkel, F. S.; Brito, L. F.; Rezende Neves, H. H.; Munari, D. P.; Boligon, A. A.; Carneiro, R. Unravelling biological biotypes for growth, visual score and reproductive traits in Nelore cattle via principal component analysis. **Livestock Science**, v.217, p.37-43, 2018.

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.

Veit, H. M.; Salman, A. K. D.; Cruz, P. G.; Souza, E. C.; Schmitt, E. Bioacústica como método de avaliação do comportamento em pastejo de novilha Girolando. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.70, p.873-880, 2018.

Veissier, I.; Palme, R.; Moons, C. P.; Ampe, B.; Sonck, B.; Andanson, S.; Tuyttens, F. A. Heat stress in cows at pasture and benefit of shade in a temperate climate region. **International journal of biometeorology**, v.62, p.585-595, 2018.

Von Müller, A. R.; Renison, D.; Cingolani, A. M. Cattle landscape selectivity is influenced by ecological and management factors in a heterogeneous mountain rangeland. **The Rangeland Journal**, v.39, p.1-14, 2017.

Wani, M. A.; Shaista, N.; Wani, Z. M. Spatial Variability of Some Chemical and Physical Soil Properties in Bandipora District of Lesser Himalayas. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v.45, p.611-620, 2017.

West, J. W. Nutritional strategies for managing the heat-stressed dairy cow. **Journal of Dairy Science**, v.82, p.21-35, 1999.

Williams, M. L.; James, W. P.; Rose, M. T. Fixed-time data segmentation and behavior classification of pasture-based cattle: Enhancing performance using a hidden Markov model. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.142, p.585-596, 2017.

Williams, M. L.; James, W. P.; Rose, M. T. Variable segmentation and ensemble classifiers for predicting dairy cow behaviour. **Biosystems Engineering**, v.178, p.156-167, 2019.

Zehner, N.; Umstätter, C.; Niederhauser, J. J.; Schick, M. System specification and validation of a noseband pressure sensor for measurement of ruminating and eating behavior in stable-fed cows. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.136, p.31-41, 2017.

Dinâmica de propriedades físicas do solo sob pastejo rotacionado de bovinos

RESUMO - Os solos de áreas sob pastejo sofrem alterações físicas, de maior ou menor intensidade, pela ação do pisoteio animal. Assim, objetivou-se avaliar a dependência espacial dos atributos físicos do solo sob pisoteio de bovinos em pastejo rotacionado na região agreste de Pernambuco. A pesquisa foi conduzida na Fazenda didática da Universidade Federal Rural de Pernambuco, região Agreste do Estado de Pernambuco, Brasil. Na área demarcou-se um piquete de 0,25 ha e, utilizaram-se quatro bovinos de leite mestiços (Holandês-Zebu) com peso médio de 450 kg, manejados em sistema de pastejo rotacionado que compreendeu 7 dias de ocupação e 28 dias para descanso da pastagem. Coletaram-se amostras indeformadas de solo, antes da primeira passagem dos animais no piquete e ao final de cada período de descanso da pastagem, ou seja, ao 0, 35, 70 e 105 dias de estudo, em malha de 6×14 m, que totalizou 32 pontos de amostragem. Em cada ponto determinou-se a densidade, porosidade total, umidade, resistência à penetração do solo nas profundidades de 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m e a condutividade hidráulica do solo saturado. Os dados obtidos foram submetidos à análise de estatística descritiva, geoestatística e multivariada. A distribuição normal foi observada em todas as variáveis estudadas. Os atributos físicos do solo apresentaram coeficiente de variação entre baixa e média e, forte dependência espacial em ambos os períodos de pastejo. A análise multivariada canônica indicou modificação nas propriedades físicas do solo, principalmente após a segunda passagem dos animais no piquete.

Palavras-chave: geoestatística, krigagem ordinária, multivariada cônica, pastejo rotacionado, qualidade física do solo.

Dynamics of soil physical properties under rotational grazing of cattle

ABSTRACT - The soils of areas under grazing undergo physical changes, of greater or lesser intensity, by the action of animal trampling. Thus, the objective was to evaluate the spatial dependence of the physical attributes of soil under trampling of cattle in rotational grazing in the wild region of Pernambuco. The research was conducted at the teaching farm of the Federal Rural University of Pernambuco, in the Agreste region of the State of Pernambuco, Brazil. A 0.25 ha paddock was demarcated in the area and four crossbred dairy cattle (Holstein-Zebu) with an average weight of 450 kg were used, managed in a rotational grazing system that comprised 7 days of occupation and 28 days for rest of the pasture. Undisturbed soil samples were collected, before the first passage of the animals in the paddock and at the end of each rest period of the pasture, that is, at 0, 35, 70 and 105 days of study, in a 6 × 14 m mesh, which totaled 32 sampling points. At each point, bulk density, total porosity, moisture, , soil penetration resistance at depths of 0.00-0.10 and 0.10-0.20 m and the hydraulic conductivity of the saturated soil were determined. The data obtained were subjected to descriptive, geostatistical and multivariate statistical analysis. Normal distribution was observed in all studied variables. The physical attributes of the soil showed a coefficient of variation between low and medium and strong spatial dependence in both grazing periods. The canonical multivariate analysis indicated changes in the physical properties of the soil, especially after the second passage of the animals in the paddock.

Keywords: geostatistics, ordinary kriging, conical multivariate, rotational grazing, soil physical quality.

1. INTRODUÇÃO

Com um efetivo de 221,81 milhões de cabeças em 2018, o Brasil ocupa posição de destaque, com o maior rebanho bovino do mundo. Portanto, em áreas de pastagens, a pressão exercida pelo casco apresenta uma preocupação particular, contudo, se faz necessário o manejo de forma eficiente, com a rotação e sem excesso de animais, associado ao monitoramento da textura e umidade do solo, altura da planta, taxa de lotação e tempo de pastejo (CIRILO SILVA et al., 2017). Desse modo, o pastejo intensivo e o pisoteio animal pode implicar na redução da qualidade física do solo (BORTOLINI et al., 2016), sobretudo pelo aumento da resistência à penetração das raízes e a densidade do solo, com a redução do espaço poroso e da taxa de infiltração de água no solo (BONINI et al., 2016; FIDALSKI E ALVES, 2015).

Os solos de áreas sob pastejo sofrem alterações físicas, de maior ou menor intensidade, pela ação do pisoteio dos animais (FERNÁNDEZ et al., 2015). Diferentes atributos do solo têm sido empregados para caracterizar as modificações físicas resultantes da sua compactação, ou ainda, pelo diferente manejo das pastagens. Os parâmetros físicos comumente utilizados para caracterização do solo sob pastagem são a densidade, a porosidade (FROLLA et al., 2018; BONETTI et al., 2019), a resistência a penetração (PULIDO et al., 2017; ZHANG et al., 2019) e a infiltração de água no solo (CULLOTTA et al., 2016; LOZANO BAEZ et al., 2016).

Com ênfase nos critérios de avaliação geostatísticos e multivariados em relação aos impactos do pisoteio animal nas propriedades físicas do solo, o emprego dessas técnicas permite observar a variabilidade espaço temporal e a interpretação simultânea de vários fatores experimentais dos atributos do solo (TIMM et al., 2019). A utilização conjunta dos métodos em estudos sobre a compactação do solo, proveniente do pisoteio, inclui pesquisas sobre a variabilidade espacial da umidade e compactação em solos com diferentes coberturas vegetais (GÓMES et al., 2015; BRITO et al., 2018).

A análise de dados por meio da geoestatística possibilita caracterizar e quantificar a variabilidade espacial, sendo esses parâmetros utilizados para interpolação racional e estimativa da variação dos valores interpolados. Esta estimativa fornece informações fundamentais sobre a densidade e configuração da amostra necessária para estimar uma propriedade com precisão especificada (REZA et al., 2016). Neste contexto, objetivou-se avaliar a dependência espacial dos atributos físicos do solo sob pisoteio de bovinos em pastejo rotacionado na região Agreste de Pernambuco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa foi conduzida na Fazenda didática da Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada no município de Garanhuns-PE, Mesorregião Agreste do Estado de Pernambuco (Figura 1). O local situa-se na latitude de 8° 58' S, longitude de 36° 27' W e altitude de 866 m. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como mesotérmico tropical de altitude (Cs'a). A temperatura média anual é de 20°C e a precipitação pluviométrica média anual de 908,6 mm (AZAMBUJA E CORRÊA, 2015). O solo da área experimental foi classificado como Argissolo Amarelo de acordo com Lima et al. (2016).

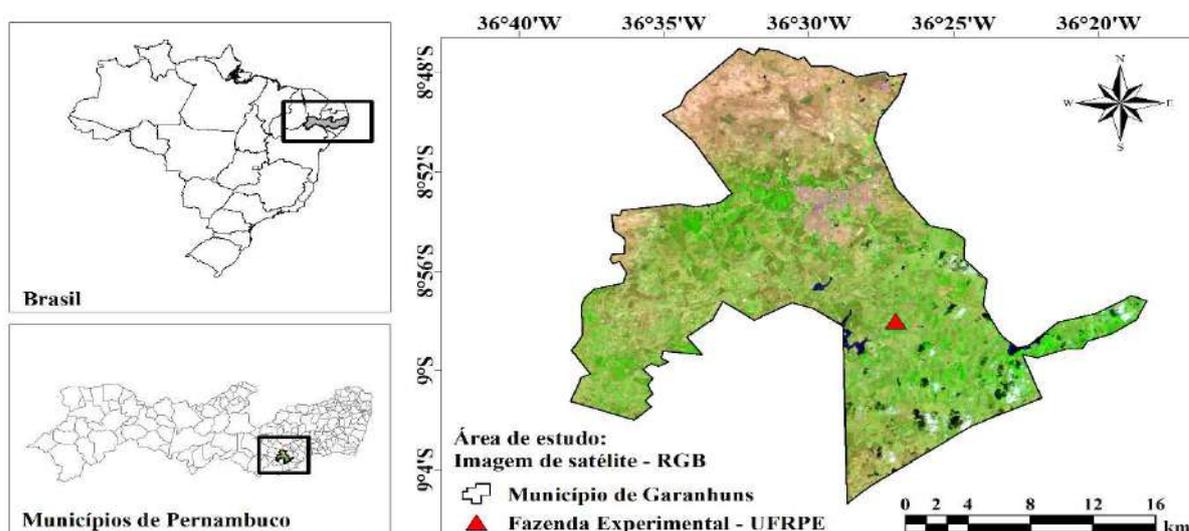


Figura 1. Mapa de localização da Fazenda Didática da UFRPE no município de Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

A caracterização textural do solo foi realizada de acordo com o método descrito por EMBRAPA (2011) o solo da área apresentou textura Franco Arenosa, com 652,50 g kg⁻¹ de areia, 178,70 g kg⁻¹ de silte e 168,80 g kg⁻¹ de argila, contendo 31,55 g kg⁻¹ de Matéria orgânica e a Densidade de partículas em 2.55 kg dm⁻³.

2.2. Protocolo de amostragem

O estudo foi conduzido sob pastagem de *Brachiaria decumbens*, em uma área de 50 x 50 m que totalizou 0,25 ha, manejada em sistema de pastejo rotacionado, no qual, o período de ocupação e descanso do piquete constituiu, de 7 e 28 dias, respectivamente. Portanto, em apenas

um campo de pastejo os animais permaneceram 7 dias, sendo alocados em outro espaço da fazenda no decorrer do período de descanso (28 dias).

Utilizaram-se quatro bovinos de leite mestiços, (Holandês-Zebu), com peso médio de 450 kg, durante ciclo de pastejo de 105 dias, que se deu início quando o pasto estava com altura média da ordem de 0,60 m. Anexo ao piquete, disponibilizou-se área de sombra e bebedouro de livre acesso aos animais, interligadas por um corredor de 3 m de largura (Figura 2).

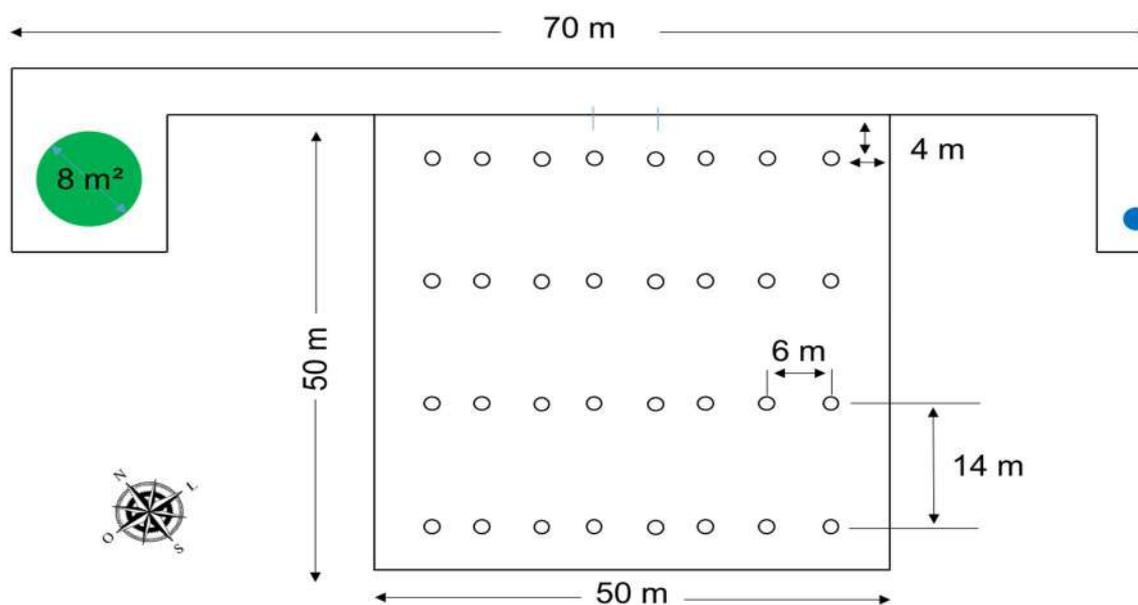


Figura 2. Croqui da área de pastagem. Pontos de amostragem (○), área de sombra para os animais (●), bebedouro (●), acesso dos bovinos as áreas contiguas (||).

2.3. Medição dos atributos físicos-hídrico do solo

Na área de pastejo, determinou-se a resistência do solo à penetração, a umidade, a densidade e a porosidade total do solo nas profundidades de 0,00-0,10 m e 0,10-0,20 m, além da taxa de infiltração de água no solo na camada superficial, em que se admitiu malha de 6 x 14 m, totalizando 32 pontos de amostragem, com bordadura de 4,0 m. As amostras foram obtidas antes da primeira passagem do gado e ao final de cada período de descanso do pasto no piquete (Figura 3), ou seja, a 0, 35, 70 e 105 dias de estudo. Portanto, antes do pastejo (P0), após a primeira passagem dos animais (P1), após a segunda passagem dos animais (P2), após a terceira passagem dos animais (P3).

Para coleta indeformada de solo utilizou-se um amostrador do tipo Uhland. As amostras foram pesadas para determinação da massa úmida do solo e após secas em estufa a 105 °C, durante 24 h, para obtenção da massa seca do solo. Mensurou-se a densidade do solo (Ds, Kg

dm⁻³) a partir do peso do solo seco em estufa e do volume total da amostra de solo. O teor de água gravimétrico (Ug, %) foi calculado pela diferença entre o peso úmido e peso seco da amostra obtido após a secagem em estufa. Determinou-se a densidade de partículas (Dp, Kg dm⁻³) pelo método do balão volumétrico. A porosidade total (PT, %) foi quantificada por meio da razão da Ds/Dp. As frações de areia, silte e argila foram determinadas pelo método do densímetro. Todos os procedimentos foram realizados de acordo com metodologia estabelecida pela EMBRAPA (2011).

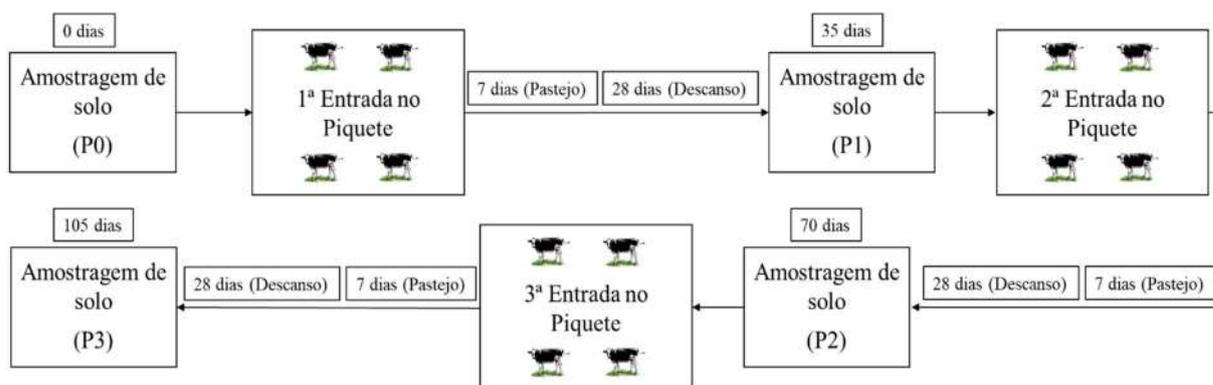


Figura 3. Ciclo de pastejo e período amostral de solo.

A determinação da resistência do solo à penetração (RP, MPa) foi por meio de penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar/Stolf, em que o número de impactos dm⁻¹ é transformado em resistência dinâmica (MPa) por meio da Eq. 1 proposta por STOLF (1991).

$$RP = \frac{M + m + \left(\frac{M}{M + m} \times \frac{M \times h}{X} \right)}{A} \quad (1)$$

em que: RP - Resistência do solo à penetração, kgf cm⁻² (kgf cm⁻² x 0,098 = MPa); M - Massa do êmbolo, 1,6 kg; m - Massa do aparelho sem êmbolo, 1,5 kg; h - Altura de queda do êmbolo, 54 cm; X - Penetração da haste do aparelho, cm por impacto; A - Área do cone, 1,35 cm².

Para caracterização da infiltração de água no solo, foi utilizado o método de Beerkan, que se baseia em ensaios de infiltração simplificados e na análise da distribuição dos tamanhos das partículas do solo (HAVERKAMP et al., 1996; LASSABATERE et al., 2006). Para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado (K₀, mm s⁻¹), utilizou-se a metodologia desenvolvida por Bagarello et al. (2014) Eq.2.

$$K_0 = \frac{b}{0,467 \left(\frac{2,92}{r\alpha} + 1 \right)} \quad (2)$$

em que: K_0 - Condutividade hidráulica em solo saturado, mm s^{-1} ; b - Coeficiente angular da reta da equação linearizada da função de infiltração acumulada com o tempo; r - Raio do anel, de 75 mm; α - Foi adotado 0,012, conforme sugerido por Reynolds et al. (2002), para utilização de prática de permeômetros e infiltrômetros em solos que variam de areias grossas a argilas compactadas.

2.4. Análise de dados

Os dados das propriedades físico-hídricas do solo (Resistência a penetração, umidade gravimétrica, densidade, porosidade e condutividade hidráulica do solo) foram submetidos à estatística descritiva, em que, se calculou a média, mediana, o coeficiente de variação, o coeficiente de assimetria e o coeficiente de curtose. Utilizou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov para responder a hipótese de normalidade intrínseca.

Para verificar a variabilidade espacial das variáveis (Resistência a penetração, umidade gravimétrica, densidade, porosidade e condutividade hidráulica do solo) do solo ao longo do tempo, os resultados foram analisados por meio de métodos geoestatísticos de análise de semivariogramas (VIEIRA et al., 2014). A autocorrelação espacial entre locais vizinhos foi calculada por meio da semivariância $\gamma(h)$, estimada pela Eq. 3 (MATHERON, 1963):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

Em que: $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por um vetor h . O gráfico de $\gamma(h)$ em função dos valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é função apenas do vetor h .

Os modelos de semivariogramas foram ajustados por meio do programa GS+ 7.0 (Gamma Design Software, 2012). A escolha do melhor modelo ajustado aos semivariogramas baseou-se no coeficiente de determinação (R^2), conforme Gülser et al. (2016) e Chen et al. (2020). Utilizou-se o programa Surfer 9 (Golden Software, 2010) para manipulação e visualização da distribuição espacial, por meio da construção de mapas de isolinhas das variáveis, krigagem ordinária. As escalas dos mapas de RP foram constituídas de acordo com

as classes adaptadas do Soil Survey Staff (2017), em que: RP baixa < 0,1 MPa; RP moderada de 0,1 a 2,0 MPa; RP alta de 2,0 a 4,0 MPa; RP muito alta de 4,0 a 8,0 MPa; e RP extremamente alta > 8,0 MPa.

Para analisar o grau da dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que foram considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que apresentaram efeito pepita <25% do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca, >75%.

O grau de variabilidade dos parâmetros do solo foi analisado a partir do coeficiente de variação, com base na classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), que sugere os limites $CV < 12\%$, $12 \leq CV < 60\%$, e $CV \geq 60\%$ para atributos de baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

Além disso, os dados (Resistência a penetração, umidade gravimétrica, densidade, porosidade e condutividade hidráulica do solo) foram submetidos à análise discriminante canônica em uma abordagem multivariada, com o propósito de agrupar e reduzir as variáveis originais. A representação gráfica com escores canônicos, para os períodos de pastejo, foi utilizado para representar a variável canônica resultante. Todos os procedimentos empregados para a análise multivariada foram realizados no pacote candisc do software R (R Core Team, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Análise descritiva

Os resultados estatísticos descritivos referentes as propriedades físico-hídricas do solo para os períodos de pastejo apontam proximidade entre os valores de média e mediana (Tabela 1), o que indica distribuição simétrica, ou seja, os outliers não prevaleceram as medidas de tendência central (BAO et al., 2014). De acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov, verificou-se distribuição normal para todas as variáveis estudadas, reforçado, com os coeficientes de assimetria e curtose próximos ou iguais à zero (BERNADI et al., 2016; FERREIRO et al., 2016).

O coeficiente de variação (Tabela 1) apresentou baixa variabilidade para densidade do solo (D_s) em todos os períodos de pastejo e camadas. Para a umidade gravimétrica (U_g) antes e após a primeira passagem em ambas as profundidades, também apresentaram baixa variabilidade, assim como, após a terceira passagem dos animais na faixa de 0,00 – 0,10 m (WARRICK E NIELSEN, 1980).

Tabela 1. Parâmetros estatísticos descritivos, relativos aos atributos físicos do solo nas camadas 0,00 - 0,10 m; 0,10 - 0,20 m durante o ciclo de pastejo.

VARIÁVEIS	¹ MÍN	² MÁX	MÉDIA	MEDIANA	³ DP	⁴ CV	⁵ A	⁶ C	⁷ D
ANTES DO PASTEJO									
0,00 – 0,10 (m)									
RP (MPa)	0,88	1,29	1,13	1,22	0,15	13,0	-0,49	-1,43	0,23*
Ug (%)	13,85	20,79	16,43	15,88	1,83	11,0	0,83	0,12	0,13*
Ds (kg dm ⁻³)	1,43	1,7	1,54	1,55	0,07	4,00	0,32	-0,16	0,13*
PT (%)	27,63	41,76	33,14	33,14	3,45	10,0	0,75	0,51	0,16*
K ₀ (mm s ⁻¹)	0,008	0,042	0,024	0,021	0,011	46,0	0,36	-1,05	0,15*
0,10 – 0,20 (m)									
RP (MPa)	1,22	3,25	1,88	1,90	0,56	30,0	0,43	-0,43	0,24*
Ug (%)	13,36	18,49	16,07	15,99	1,14	7,00	0,03	-0,05	0,13*
Ds (kg dm ⁻³)	1,04	1,65	1,32	1,3	0,15	11,0	0,17	-0,64	0,15*
PT (%)	24,53	47,90	37,33	38,08	5,97	16,0	-0,37	-0,20	0,14*
APÓS A PRIMEIRA PASSAGEM DOS ANIMAIS									
0,00 – 0,10 (m)									
RP (MPa)	1,22	3,25	2,15	1,90	0,55	25,0	0,05	-0,34	0,24*
Ug (%)	11,15	16,33	13,66	13,53	1,44	11,0	0,14	-0,94	0,15*
Ds (kg dm ⁻³)	1,39	1,72	1,56	1,56	0,08	5,00	-0,01	-0,4	0,13*
PT (%)	23,06	37,90	29,74	30,02	3,96	13,0	0,52	0,02	0,13*
K ₀ (mm s ⁻¹)	0,007	0,033	0,019	0,020	0,009	46,0	0,37	-1,06	0,15*
0,10 – 0,20 (m)									
RP (MPa)	2,57	4,60	3,50	3,25	0,57	16,0	0,27	-0,33	0,24*
Ug (%)	11,60	15,33	13,15	13,14	0,96	7,00	0,22	-0,33	0,16*
Ds (kg dm ⁻³)	1,12	1,7	1,48	1,48	0,15	10,0	-0,43	-0,37	0,14*
PT (%)	24,53	45,66	36,14	36,39	5,75	16,0	-0,21	-0,66	0,16*
APÓS A SEGUNDA PASSAGEM DOS ANIMAIS									
0,00 – 0,10 (m)									
RP (MPa)	3,92	14,73	9,60	9,66	2,78	29,0	-0,23	-0,74	0,15*
Ug (%)	7,32	14,83	10,91	10,46	2,00	18,0	0,01	-0,87	0,17*
Ds (kg dm ⁻³)	1,46	1,81	1,67	1,67	0,09	5,00	-0,75	0,51	0,15*
PT (%)	23,06	37,88	29,61	30,02	3,78	13,0	0,48	0,25	0,14*
K ₀ (mm s ⁻¹)	0,005	0,027	0,015	0,013	0,007	47,0	0,39	-1,02	0,14*
0,10 – 0,20 (m)									
RP (MPa)	12,03	16,75	14,16	14,05	1,41	10,0	0,36	-0,50	0,19*
Ug (%)	6,05	13,51	9,63	9,69	1,93	20,0	0,13	-0,55	0,06*
Ds (kg dm ⁻³)	1,33	1,92	1,6	1,58	0,15	10,0	0,37	-0,2	0,12*
PT (%)	24,53	44,10	35,03	33,89	5,08	15,0	-0,05	-0,21	0,15*
APÓS A TERCEIRA PASSAGEM DOS ANIMAIS									
0,00 – 0,10 (m)									
RP (MPa)	4,16	15,61	10,18	10,24	2,94	29,0	-0,23	-0,74	0,15*
Ug (%)	8,29	13,55	10,64	10,36	1,19	11,0	0,69	0,64	0,19*
Ds (kg dm ⁻³)	1,54	1,92	1,76	1,76	0,1	6,00	-0,61	0,03	0,17*
PT (%)	22,29	32,45	28,18	28,33	2,79	10,0	-0,30	-0,62	0,11*
K ₀ (mm s ⁻¹)	0,004	0,020	0,011	0,010	0,005	46,0	0,38	-1,05	0,15*
0,10 – 0,20 (m)									
RP (MPa)	13,38	18,33	16,08	15,92	1,40	9,00	-0,13	-0,58	0,22*
Ug (%)	7,47	13,05	9,88	9,94	1,49	15,0	0,20	-0,73	0,19*
Ds (kg dm ⁻³)	1,31	1,92	1,64	1,65	0,15	9,00	-0,07	-0,56	0,15*
PT (%)	24,53	43,06	33,99	33,59	4,20	12,0	-0,31	0,32	0,14*

RP: Resistência a penetração; Ug: Umidade do solo; Ds: Densidade do Solo; PT: Porosidade total; K₀: Condutividade Hidráulica do solo. ¹MÍN: Mínimo; ²MÁX: Máximo; ³DP: Desvio Padrão; ⁴CV: Coeficiente de Variação (%); ⁵A: Assimetria; ⁶C: Curtose; ⁷D: Normalidade por K-S *Significativo a 5%.

A porosidade total para antes do pastejo e após a terceira passagem entre 0,00 – 0,10 m e, a resistência a penetração na terceira passagem dos animais, o coeficiente de variação de maneira similar, apresentou baixa variabilidade, o que demonstra maior homogeneidade dos atributos. As demais propriedades do solo em suas relativas épocas e profundidades exibiram média variabilidade conforme classificação de Warrick E Nielsen (1980). Variações semelhantes foram encontradas por Brito et al. (2018) em estudo das propriedades físicas do solo sob pastagem (Tabela 1).

A resistência a penetração do solo (RP) apresentou médias que podem ser classificadas como moderada, alta, extremamente alta e extremamente alta na profundidade de 0,00 – 0,10 m para os respectivos períodos de pastejo, do mesmo modo, na camada de 0,10 – 0,20 m a RP foi classificada como moderada, alta, extremamente alta e extremamente alta, para as diferentes épocas de estudo, respectivamente (Tabela 1).

Observa-se valores médios (Tabela 1) da RP ao longo do tempo, incremento de 800% para camada de 0,00 – 0,10 m e de 755% para camada de 0,10 – 0,20 m (Figura 4), após os 105 dias de estudo. No entanto, valores entre 2,0 e 3,0 MPa têm sido indicados como os limites críticos de resistência do solo à penetração para a maioria das espécies vegetais em áreas de pastagem (PULIDO al., 2017). Em pesquisa sobre as respostas das propriedades físicas do solo ao pastejo Zhang et al. (2019), relataram que o pisoteio bovino afetou a RP nos primeiros 0,20 m da camada do solo. Ainda conforme os autores, a relação entre a área de controle e a pastejada com taxa de lotação de 4 UA ha⁻¹ apresenta uma elevação da RP em 110 e 100%, respectivamente, para as faixas de 0,00 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m.

O pisoteio animal também promoveu acréscimo a densidade do solo em 14 e 24% na camada de 0,00 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m (Figura 4), respectivamente, entretanto, apenas após a terceira passagem (P3), o limite crítico de 1,65 kg dm⁻³ sugerido por Reinert et al. (2008) foi superado na camada de 0,00 – 0,10 m. Esses achados corroboram estudos anteriores, em que a densidade do solo aumentou com o pisoteio (MORÓN et al., 2017; ZHANG et al., 2017; VASQUES, 2019).

As médias da porosidade total (PT) e da condutividade hidráulica do solo (K₀) reduziram 15 e 9% (PT) e, 54% (K₀), respectivamente, para as camadas avaliadas, após 105 dias de pastejo (Figura 4), logo, essas alterações podem ser provenientes da pressão exercida pelos cascos dos animais, que ocasionaram aumento na D_s. Esses achados corroboram Bonetti et al. (2019) que estudaram os efeitos do pisoteio animal, na pastagem e no comportamento físico-hídrico do solo e, relataram que a taxa de infiltração chegou a reduzir 81% durante o período estudado.

No entanto, Frolla et al. (2018) que estudaram o pisoteio animal em três diferentes taxas de lotação (controle: 0 UA ha⁻¹, moderada: 160 UA ha⁻¹, pesada: 320 UA ha⁻¹) e textura do solo (argila-arenosa, franco-arenoso e franco-argilo-arenoso), observaram que a maior densidade e resistência a penetração foi verificada no solo franco-arenoso com elevada taxa de lotação, enquanto a condutividade hidráulica do solo apresentou respectiva redução de 21 e 19%, para taxas moderada e pesada, quando comparadas ao controle.

Os achados do presente estudo apontam que a tensão aplicada ao solo por meio do pisoteio bovino 180 kPa (NEGRÓN et al., 2019) pode afetar a infiltração, percolação e armazenamento de água no solo, o que teria implicações hidrológicas importantes, como o aumento do escoamento superficial e a erosão do solo (VASQUES, 2019). Assim como, prejudicar o desenvolvimento das raízes da planta, nesse sentido, se faz necessário um crescimento eficiente do sistema radicular para absorver água disponível nas camadas mais inferiores (BARTZEN et al., 2019).

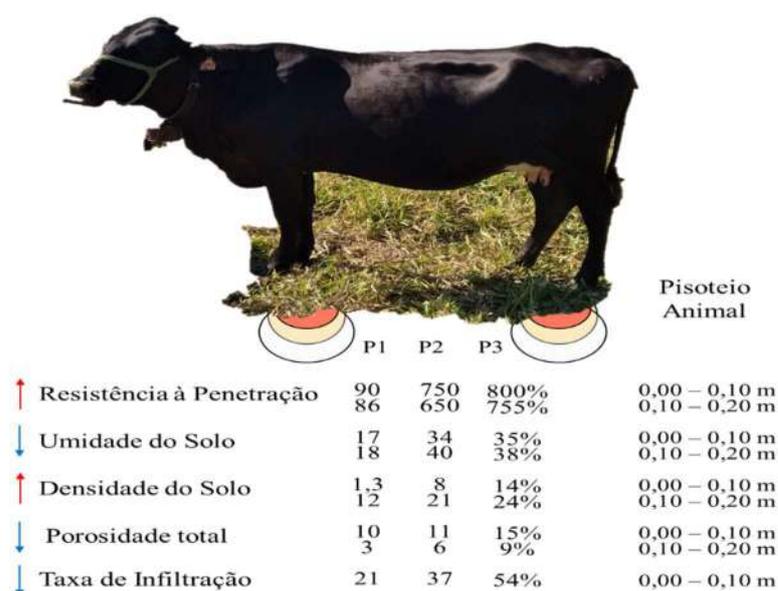


Figura 4. Ilustração em percentual dos impactos do pastejo, com base nos resultados médios (Tabela 2) em relação a (P0). As direções das setas indicam a redução ou aumento da propriedade do solo. P1 (Após a primeira passagem dos animais), P2 (Após a segunda passagem dos animais e P3 (Após a terceira passagem dos animais) nas camadas 0,00 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 (B).

3.2 Variabilidade espacial

Os semivariogramas das variáveis do solo ajustaram-se ao modelo esférico (Tabela 2), baseado no melhor coeficiente de determinação (R²).

Tabela 2. Parâmetros dos modelos de semivariograma e grau de dependência espacial (GDE), durante ciclo de pastejo.

ATRIBUTOS	MODELO	C ₀	C ₀ +C	A	GDE %	R ²
ANTES DO PASTEJO						
0,00 – 0,10 (m)						
RP (MPa)	Esférico	0,0025	0,023	10,060	10,87	0,847
Ug (%)	Esférico	0,461	2,608	15,000	17,68	0,996
Ds (kg dm ⁻³)	Esférico	0,00047	0,00803	12,610	5,85	0,954
PT (%)	Esférico	0,480	8,99	10,960	5,34	0,928
K ₀ (mm s ⁻¹)	Esférico	0,000002	0,0001	9,950	2,00	0,966
0,10 – 0,20 (m)						
RP (MPa)	Esférico	0,035	0,343	7,970	10,20	0,985
Ug (%)	Esférico	0,025	0,826	9,600	3,03	0,881
Ds (kg dm ⁻³)	Esférico	0,001	0,0155	11,310	6,45	0,932
PT (%)	Esférico	0,880	26,880	9,310	3,27	0,868
APÓS A PRIMEIRA PASSAGEM DOS ANIMAIS						
0,00 – 0,10 (m)						
RP (MPa)	Esférico	0,033	0,320	10,580	10,30	0,914
Ug (%)	Esférico	0,054	1,587	11,650	3,40	0,846
Ds (kg dm ⁻³)	Esférico	0,00025	0,00874	8,460	2,86	0,953
PT (%)	Esférico	0,310	12,990	8,250	2,39	0,905
K ₀ (mm s ⁻¹)	Esférico	0,000001	0,000063	9,790	1,59	0,979
0,10 – 0,20 (m)						
RP (MPa)	Esférico	0,008	0,275	10,200	2,90	0,851
Ug (%)	Esférico	0,123	0,755	9,000	16,29	0,852
Ds (kg dm ⁻³)	Esférico	0,0007	0,0146	10,920	4,79	0,963
PT (%)	Esférico	1,300	30,040	9,890	4,33	0,864
APÓS A SEGUNDA PASSAGEM DOS ANIMAIS						
0,00 – 0,10 (m)						
RP (MPa)	Esférico	0,440	6,709	12,260	6,55	0,986
Ug (%)	Esférico	0,080	3,404	8,170	2,35	0,960
Ds (kg dm ⁻³)	Esférico	0,00006	0,00565	9,770	1,06	0,780
PT (%)	Esférico	0,100	12,830	8,570	0,78	0,865
K ₀ (mm s ⁻¹)	Esférico	0,0000001	0,000039	8,570	0,26	0,918
0,10 – 0,20 (m)						
RP (MPa)	Esférico	0,494	2,400	12,000	20,58	0,963
Ug (%)	Esférico	0,061	2,581	8,140	2,36	0,846
Ds (kg dm ⁻³)	Esférico	0,00016	0,0209	9,760	0,77	0,753
PT (%)	Esférico	0,220	18,710	7,520	1,18	0,927
APÓS A TERCEIRA PASSAGEM DOS ANIMAIS						
0,00 – 0,10 (m)						
RP (MPa)	Esférico	0,400	8,553	12,070	4,67	0,852
Ug (%)	Esférico	0,022	0,415	11,090	5,30	0,906
Ds (kg dm ⁻³)	Esférico	0,00018	0,00536	8,790	3,36	0,946
PT (%)	Esférico	0,140	12,440	8,820	1,13	0,862
K ₀ (mm s ⁻¹)	Esférico	0,0000001	0,000023	9,510	0,43	0,935
0,10 – 0,20 (m)						
RP (MPa)	Esférico	0,120	1,204	12,460	9,97	0,917
Ug (%)	Esférico	0,051	0,863	11,588	5,91	0,831
Ds (kg dm ⁻³)	Esférico	0,00082	0,02144	9,680	3,82	0,986
PT (%)	Esférico	0,370	11,870	8,970	3,12	0,872

C₀: Efeito Pepita; C₀+C: Patamar; A: Alcance; GDE: Grau de Dependência Espacial (%); R²: Ajuste do semivariograma.

De acordo com Oldoni et al. (2019), o modelo esférico é frequentemente ajustado para descrever a variabilidade espacial dos atributos do solo. Ajuste semelhante foi encontrado por inúmeros pesquisadores (MCBRATNEY E WEBSTER, 1986; CAMBARDELLA et al., 1994; FIGUEIREDO et al., 2016; REZA et al., 2016; KREBA et al., 2017; LIMA et al., 2019).

A qualidade de ajuste do semivariograma pode ser confirmada pelos coeficientes de determinação (R^2) que apresentaram valores superiores a 0,70, conforme Tavanti et al. (2019), semivariogramas com R^2 acima de 0,50 já apresentam ajuste aceitável.

No presente estudo, o efeito pepita da maioria das variáveis estudadas apresentaram-se inferior à 1,0 (um), o que sugere poucos erros de medição e adequada malha amostral (CAMBARDELLA et al., 1994). Já o alcance, indica a distância máxima na qual os pontos da mesma variável são espacialmente correlacionados. Os alcances (A) variaram entre 7,52 e 15,00 m, com o menor valor para porosidade total (P2) na camada 0,10-0,20 m, e maior valor para umidade (P0) na camada 0,00-0,10 m (Tabela 2). Esses resultados indicam que o espaçamento foi adequado para caracterizar a variabilidade espacial das características do solo neste local.

O grau de dependência espacial (Tabela 2) foi classificado como forte (GDE <25%) para todas as variáveis analisadas (CAMBARDELLA et al., 1994). Resultados semelhantes também podem ser verificados em pesquisas anteriores (OZGOZ et al., 2011; GLENDELL et al., 2014; GÜLSER et al., 2016). A variabilidade espacial das propriedades do solo pode ser afetada por fatores intrínsecos e extrínsecos, como fatores de formação do solo e práticas de manejo do solo, respectivamente (CAMBARDELLA et al. 1994).

Os mapas de krigagem permitem verificar a distribuição espacial dos atributos físicos analisados, observa-se que a densidade do solo (Ds) na camada 0,00 - 0,10 m foi pouco afetada após os primeiros 7 dias de pastejo (Figura 5), entretanto, após a segunda passagem dos animais a densidade aumentou principalmente na região Leste (E) do piquete, na qual, atingiu valores iguais ou superiores a $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$. Nessa mesma direção (E), verificou-se redução da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) e da porosidade total (PT), no entanto, a partir da P1, é possível observar decréscimo considerável das variáveis PT e K_0 (Figura 5).

Nota-se nos mapas de Krigagem (Figura 5), que a RP antes do pastejo, não excedeu 2,0 MPa, sendo que após a P1, esse valor é superado, sob influência da redução na umidade e da porosidade total do solo, já que após P2 e P3 a RP atinge 4,0 MPa e 8,0 MPa, respectivamente, sobretudo na parte Leste (E) do piquete.

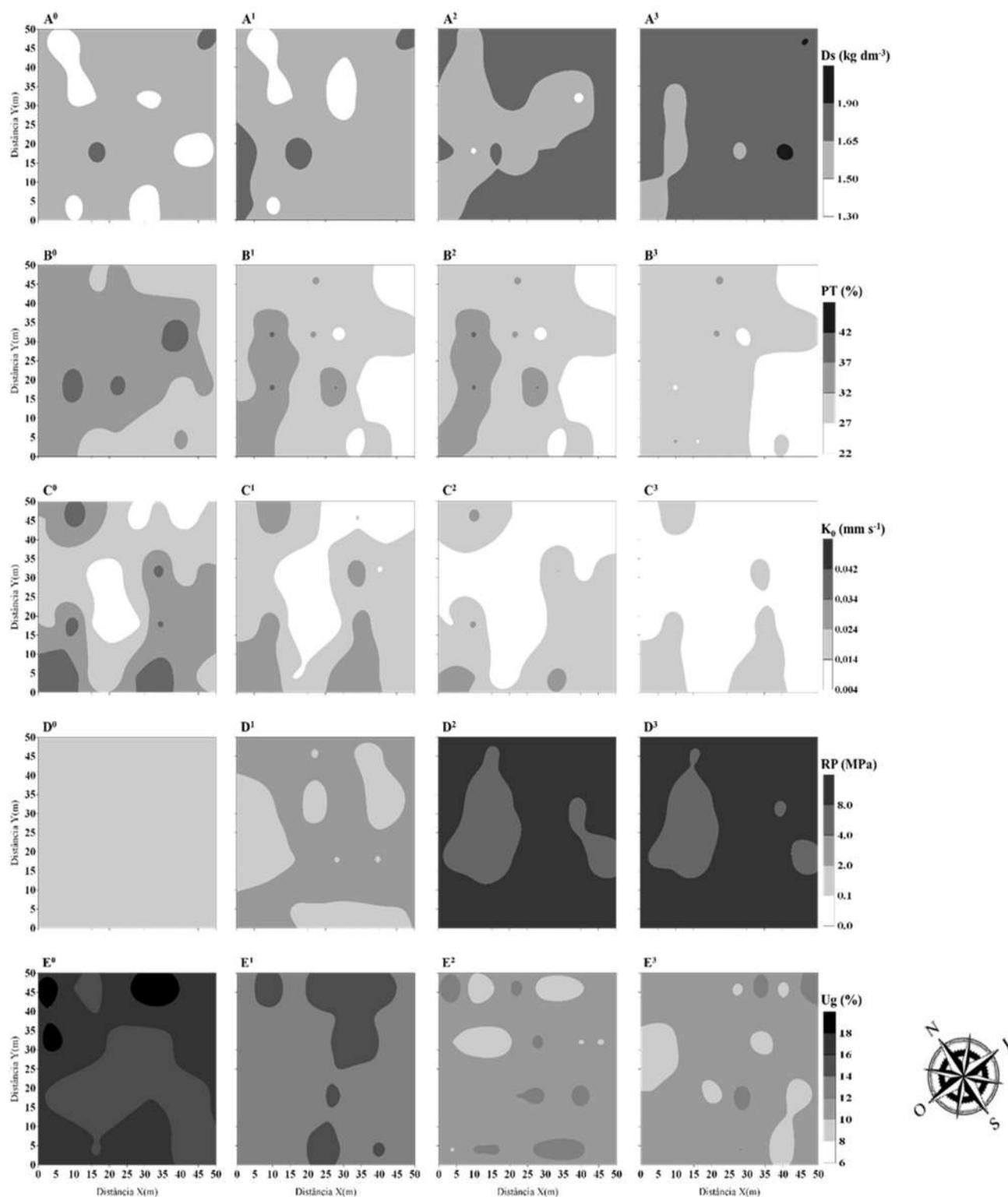


Figura 5. Mapas de krigagem da Densidade (Ds - A), Porosidade Total (PT - B), condutividade hidráulica (K₀ - C), Resistência a Penetração (RP - D) e Umidade gravimétrica (Ug – E) do solo, na camada de 0,00 – 0,10 m. ⁰Antes do pastejo, ¹Após a primeira passagem dos animais, ²Após a segunda passagem dos animais, ³Após a terceira passagem dos animais.

Portanto, esses achados indicam uma possível região de preferência dos animais (E). Motivada pela seletividade dos bovinos no quadrante com melhor qualidade da forragem, o que induziu o pastoreio desuniforme (COPPA et al., 2015; MANNING et al., 2017). O pastejo nessas áreas (E) pode ter continuado nos períodos P2 e P3 devido a preferência dos animais por zonas recentemente pastadas e podem ser explicadas por sua prevalência de brotações de recrescimento de pastagens as quais são mais palatáveis que o material não pastado (BAPTISTA et al., 2016; PAULER et al., 2020).

Na camada 0,10 - 0,20 m, os mapas de krigagem permitiram verificar que a Ds e a PT apresentaram-se inversamente proporcionais, acima de tudo no quadrante Leste (E) do piquete, o que reforça possível preferência dos animais, além de indicar que o pisoteio também alterou as propriedades físicas do solo na camada mais inferior (Figura 6). Logo, a depender do peso animal as tensões aplicadas no solo podem ser propagar por profundidades maiores (BONETTI et al., 2019).

A pressão estática de uma vaca adulta é de cerca de 180 kPa e essa pressão pode aumentar de duas a quatro vezes quando o animal está se movendo, pois nesse movimento o casco do animal aplica maior pressão em menor área de contato. Essas tensões mecânicas podem induzir a deformação da estrutura do solo, aumentar a compactação e, conseqüentemente, alterar as propriedades hidráulicas do solo (ABDEL MAGID et al., 1987; NEGRÓN et al., 2019). Assim, a pressão aplicada pelos animais em pastejo foi maior que a capacidade de carga do solo e o resultado desse processo a sua deformação (HORN et al., 2003; LIMA et al., 2017).

A RP após P2 alcançou valores superiores a 8,0 MPa em todo o piquete (Figura 6), a redução de 40% da Ug (Figura 4), pode ter impulsionado esses resultados. Logo, quando o teor de água é inferior a 10% a RP tende a aumentar (LOMELING E LASU, 2015), tendo em vista que solos secos aumentam o atrito interno e as forças coesivas entre as partículas e agregados do solo, que resulta em maior RP (AYERS E BOWEN, 1987; GOODIN E PRIDDY, 2016; BAYAT et al., 2017). Além de que, a água atua como lubrificante e reduz o atrito entre o solo e o cone de aço do penetrômetro (MORAES et al., 2013).

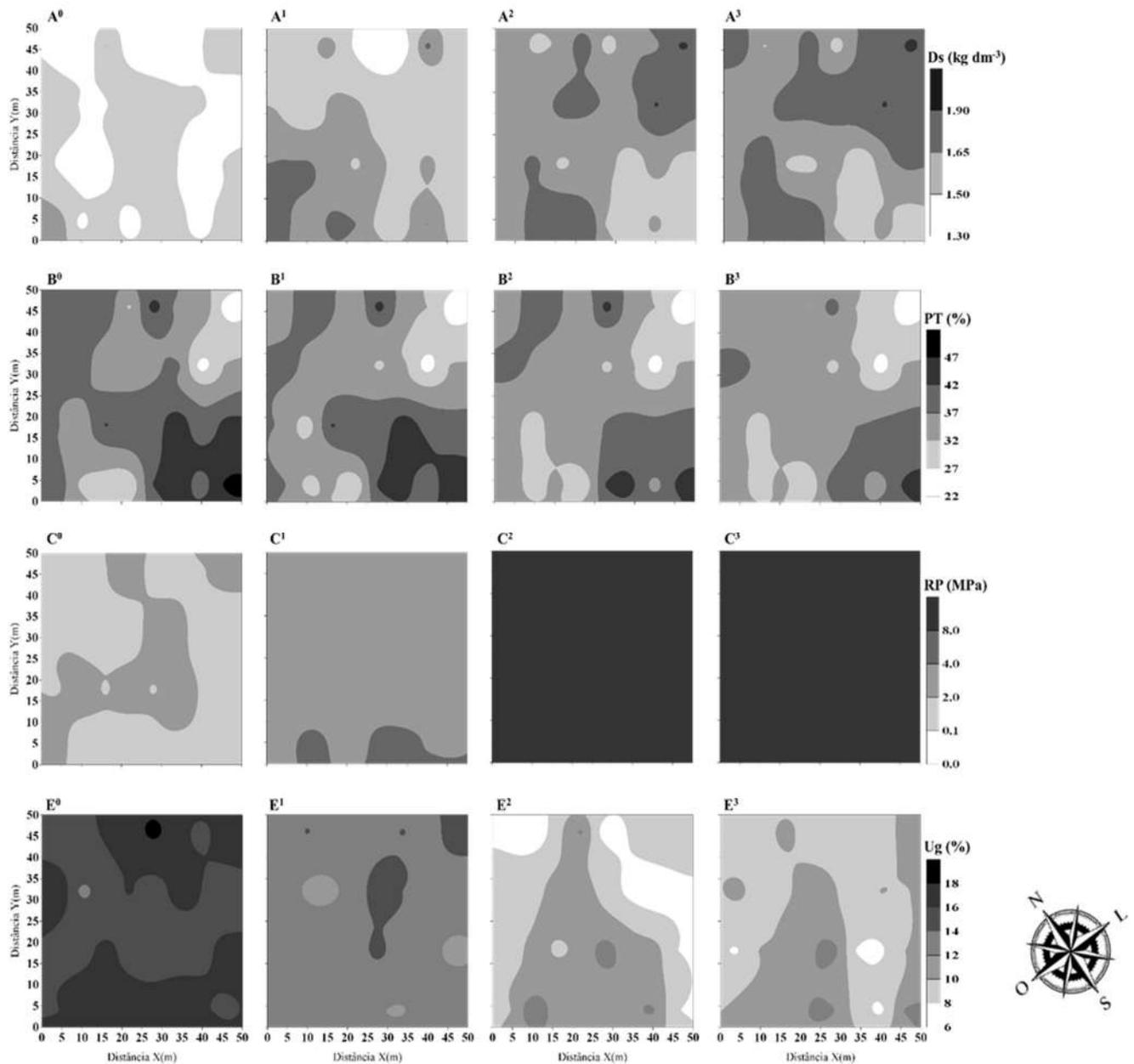


Figura 6. Mapas de krigagem da Densidade (Ds - A), Porosidade Total (PT - B), Resistência a Penetração (RP - C) e Umidade gravimétrica (Ug - D) do solo, na camada de 0,10 – 0,20 m. ⁰Antes do pastejo, ¹Após a primeira passagem dos animais, ²Após a segunda passagem dos animais, ³Após a terceira passagem dos animais.

3.3 Relações entre variáveis

A análise multivariada canônica (Can) explicou 99,8% do total de informações em Can1 e Can2 para a camada 0,00 – 0,10 m (Figura 7A) e, 100% das duas discriminantes canônicas explicaram o sistema para a faixa 0,10 – 0,20 m (Figura 7B), durante o período de pastejo. O modelo canônico é muito utilizado quando permite explicar mais de 90% das informações

contidas no sistema, com apenas duas variáveis (CAVALCANTI et al., 2019; LISBOA et al., 2019).

Os escores canônicos mostram que P0 e P1 apresentaram os maiores teores de K_0 , U_g e PT , enquanto que P2 e P3 foram estatisticamente semelhantes com elevada D_s e RP (Figura 7).

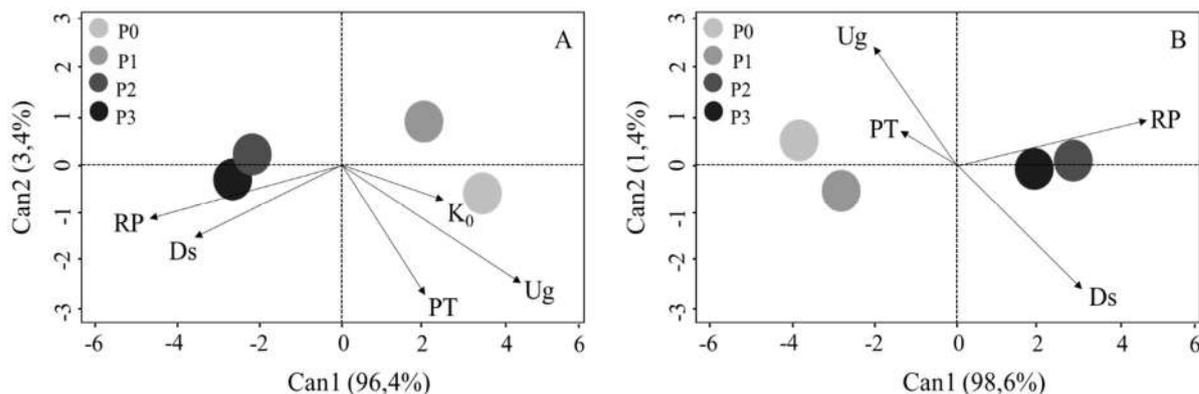


Figura 7. Dispersão dos scores das duas primeiras variáveis canônicas (Can1 e Can2) para P0 (antes do pastejo), P1 (após a primeira passagem dos animais), P2 (após a segunda passagem dos animais e P3 (após a terceira passagem dos animais) na camada 0,00 – 0,10 m (A) e 0,10 – 0,20 (B). Densidade (D_s), Porosidade Total (PT), Condutividade Hidráulica (K_0), Resistência a Penetração (RP) e Umidade Gravimétrica (U_g) do solo.

Os achados provenientes das análises canônicas reforçam os resultados da krigagem (Figura 5 e 6) e confirmam que o pisoteio bovino afetou as variáveis relacionadas ao espaço poroso do solo após P2. Ao estudarem os impactos do pastejo contínuo durante 21 dias nas propriedades físicas do solo na região agreste de Pernambuco Batista et al. (2019), os autores explicaram por meio da estatística multivariada canônica 100% das informações, ainda de acordo com os autores o pastoreio de curto prazo altera os atributos físico-hídricos dos solos de texturas arenosas.

Dessa forma, verifica-se que após os períodos de pastejo P1, P2 e P3 o pisoteio animal alterou as propriedades físicas do solo, quando comparado a P0. Foram observadas alterações consideráveis após P2 e P3, mesmo com os elevados valores de RP após P2, que também podem ser oriundos de atrito do solo com o cone do penetrômetro e o aumento da densidade do solo ao longo do tempo.

O pastejo rotacionado pode apresenta-se como uma alternativa de manejo para os produtores da região. Entretanto, estudos futuros podem abordar diferentes taxas de lotação

aplicadas ao sistema rotacionado e possíveis manejos que amplie a oferta de forragem aos animais.

CONCLUSÕES

A resistência a penetração, umidade gravimétrica, densidade, porosidade total e a condutividade hidráulica do solo apresentaram forte dependência espacial para todos os períodos em estudo.

As propriedades físicas do solo sofreram maiores alterações após a segunda passagem dos animais no piquete, o que promoveu o aumento da resistência à penetração e da densidade do solo e, redução da condutividade hidráulica e da porosidade total.

REFERÊNCIAS

Abdel Magid, A. H.; Trlica, M. J.; Hart, R. H. Soil and vegetation responses to simulated trampling. **Rangeland Ecology & Management/Journal of Range Management Archives**, v. 40, p. 303-306, 1987.

Ayers, P. D.; Bowen, H. D. Predicting soil density using cone penetration resistance and moisture profiles. **Transactions of the ASAE**, v. 30, p. 1331-1336, 1987.

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.

Bagarello, V.; D'Asaro, F.; Iovino, M. field assessment of the simplified falling head technique to measure the saturated soil hydraulic conductivity. **Geoderma**, v.187 p.49–58, 2012.

Bao, Z.; Wu, W.; Liu, H.; Yin, S.; Chen, H. Geostatistical analyses of spatial distribution and origin of soil nutrients in long-term wastewater-irrigated area in Beijing, China. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B–Soil & Plant Science**, v. 64, p. 235-243, 2014.

Baptista, E. S.; d'Abreu, M. C.; Oliveira, M. I. F. Overgrazing in the Montado? The need for monitoring grazing pressure at paddock scale. **Agroforestry systems**, v. 90, p. 57-68, 2016.

Bartzen, B. T.; Hoelscher, G. L.; Ribeiro, L. L. O.; Seidel, E. P. How the Soil Resistance to Penetration Affects the Development of Agricultural Crops?. **Journal of Experimental Agriculture International**, p. 1-17, 2019.

Batista, P. H.; 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.

Bernardi, A. D. C.; Bettiol, G. M.; Ferreira, R. D. P.; Santos, K. E. L.; Rabello, L. M.; Inamasu, R. Y. Spatial variability of soil properties and yield of a grazed alfalfa pasture in Brazil. **Precision agriculture**, v. 17, p. 737-752, 2016.

Bonetti, J. 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 an Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 186, p. 280-291, 2019.

Bonini, C. D. S. B.; Lupatini, G. C.; Andrighetto, C.; Mateus, G. P.; Heinrichs, R.; Aranha, A. S.; Santana, E. A. R.; Meirelles, G. C. Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, p.1695-1698, 2016.

Brito, W. B. M.; Campos, M. C. C.; Mantovanelli, B. C.; da Cunha, J. M.; Francison, U.; Soares, M. D. R. Spatial variability of soil physical properties in Archeological Dark Earths under different uses in southern Amazon. **Soil and Tillage Research**, v. 182, p. 103-111, 2018.

Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

Cavalcanti, R. Q.; Rolim, M. M.; de Lima, R. P.; Tavares, U. E.; Pedrosa, E. M.; Gomes, I. F. Soil physical and mechanical attributes in response to successive harvests under sugarcane cultivation in Northeastern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 189, p. 140-147, 2019.

Chen, S.; Lin, B.; Li, Y.; Zhou, S. Spatial and temporal changes of soil properties and soil fertility evaluation in a large grain-production area of subtropical plain, China. **Geoderma**, v. 357, p. 113937, 2020.

Cirilo Silva, B. E.; Medina, E. F.; Jolomba, M. R. Propriedades físicas do solo em função de diferentes manejos de pastagem. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.7, p.66-75, 2017.

Coppa, M.; Farruggia, A.; Ravaglia, P.; Pomies, D.; Borreani, G.; Le Morvan, A.; Ferlay, A. Frequent moving of grazing dairy cows to new paddocks increases the variability of milk fatty acid composition. **animal**, v. 9, p. 604-613, 2015.

Cullotta, S.; Bagarello, V.; Baiamonte, G.; Gugliuzza, G.; Iovino, M.; La Mela Veca, D. S.; Maetzke, F.; Palmeri, V.; Sferlazza, S. Comparing different methods to determine soil physical quality in a mediterranean forest and pasture land. **Soil Science Society of America Journal**, v. 80, p. 1038-1056, 2016.

EMBRAPA. **Manual de métodos e análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2011, 230p.

Fernández, P. L.; Alvarez, C. R.; Taboada, M. A. Topsoil compaction and recovery in integrated no-tilled crop–livestock systems of Argentina. **Soil and Tillage Research**, v. 153, p. 86-94, 2015.

Ferreiro, J. P.; Abreu, C. A.; Alves, M. C.; Vieira, S. R.; Almeida, V. P. Spatial variability of soil organic matter and cation exchange capacity in an Oxisol under different land uses. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, p. 75-89, 2016.

Fidalski, J.; & Alves, S. J. Grazing Height of Brachiaria and Stocking Rate Limited by Soil Physical Properties Three Years Into an Integrated Soybean Crop-Livestock System. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.39, p.864-870, 2015.

Figueiredo, E. B. D.; Panosso, A. R.; Bordonal, R. D. O.; Teixeira, D. D. B.; Berchielli, T. T.; La Scala Jr, N. Soil CO₂-C emissions and correlations with soil properties in degraded and managed pastures in Southern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 28, p. 1263-1273, 2017.

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, e00177, 2018.

Gamma Design Software. GS+. Geostatistics for the environmental sciences. Plainwell, US: Gamma Design Software, 2012.

Golden Software. Surfer for windows version 9.0. Colorado, US: Golden, 2010.

Glendell, M.; Granger, S. J.; Bol, R.; Brazier, R. E. Quantifying the spatial variability of soil physical and chemical properties in relation to mitigation of diffuse water pollution. **Geoderma**, v. 214, p. 25-41, 2014.

Gómez, L. P. P.; Herrera, J. G. A.; Amezquita, A. M. Study of the spatial variability of moisture and compaction in soils with different plant covers. **Agronomía Colombiana**, v. 34, p. 355-363, 2016.

Gülser, C.; Ekberli, I.; Candemir, F. Spatial variability of soil physical properties in a cultivated field. **Eurasian Journal of Soil Science**, v. 5, p. 192-200, 2016.

Haverkamp, R.; Arrúe, J. L.; Vandervaere, J. P.; Braud, I.; Boulet, G.; Laurent, J. P.; Taha, A.; Ross, P. J.; Angulo-Jaramillo, R. Hydrological and thermal behaviour of the vadose zone in the area of Barrax and Tomelloso (Spain): Experimental study, analysis and modeling. Project UE n. EV5C-CT, v. 92, p.00-90, 1996.

Horn, R.; Way, T.; Rostek, J. Effect of repeated tractor wheeling on stress/strain properties and consequences on physical properties in structured arable soils. **Soil and Tillage Research**, v. 73, p. 101-106, 2003.

Kreba, S. A.; Wendroth, O.; Coyne, M. S.; Walton, R. Soil gas diffusivity, air-filled porosity, and pore continuity: Land use and spatial patterns. **Soil Science Society of America Journal**, v. 81, p. 477-489, 2017.

Lassabatere, L.; Angulo-Jaramillo, R.; Soria Ugalde, J. M.; Cuenca, R.; Braud, I., Haverkamp, R. Beerkan estimation of soil transfer parameters through infiltration experiments—BEST. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, p.521-532, 2006.

Lima, A. F.; Campos, M. C.; Cunha, J. M. D.; Silva, L. S.; Oliveira, F. P. D.; Mantovanelli, B. C.; Brito Filho, E. G.; Gomes, R. P. Spatial variability and sampling density of chemical attributes in archaeological black earths under pasture in southern Amazonas, Brazil. **SOIL Discussions**, p. 1-17, 2019.

Lima, É. 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, R. P.; da Silva, A. P.; Giarola, N. F.; da Silva, A. R.; Rolim, M. M. Changes in soil compaction indicators in response to agricultural field traffic. **Biosystems Engineering**, v. 162, p. 1-10, 2017.

Lisboa, I. P.; Cherubin, M. R.; de Lima, R. P.; Gmach, M. R.; Wienhold, B. J.; Schmer, M. R.; Jin, L. I.; Elizio Junior, F. F.; Guerra, P. H., Cerri, C. C.; Cerri, C. E. Management Effects on Plant Growth, Development, and Yield in Southeastern Brazil. **Crop Science**, v. 59, p. 1732-1744, 2019.

Lomeling, D.; Lasu, D. M. Spatial Patterns of Penetration Resistance and Soil Moisture Distribution in a Sandy Loam Soil (Eutric leptosol). **Science**, v. 10, p. 130-141, 2015.

Lozano Baez, S. E.; Cooper, M.; Ferraz, S. F.; Ribeiro Rodrigues, R.; Pirastru, M.; Di Prima, S. Previous land use affects the recovery of soil hydraulic properties after forest restoration. **Water**, v. 10, p. 453, 2018.

Manning, J.; Cronin, G.; González, L.; Hall, E.; Merchant, A.; Ingram, L. The behavioural responses of beef cattle (*Bos taurus*) to declining pasture availability and the use of GNSS technology to determine grazing preference. **Agriculture**, v. 7, p. 45, 2017.

Matheron, G. Principles of geostatistics. **Economic geology**, v. 58, p. 1246-1266, 1963.

McBratney, A. B.; Webster, R. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. **Journal of soil Science**, v. 37, p. 617-639, 1986.

Moraes, M. T. D.; Debiassi, H.; Franchini, J. C.; Silva, V. R. D. Soil penetration resistance in a rhodic eutrudox affected by machinery traffic and soil water content. **Engenharia Agrícola**, v. 33, p. 748-757, 2013.

Morón, N. A. C.; Manzano, M. G.; González, R. M. Soil hydrology and vegetation as impacted by goat grazing in Vertisols and Regosols in semi-arid shrublands of northern Mexico. **The Rangeland Journal**, v. 39, p. 363-373, 2017.

Negrón, M.; López, I.; Dörner, J. Consequences of intensive grazing by dairy cows of contrasting live weights on volcanic ash topsoil structure and pasture dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 189, p. 88-97, 2019.

Oldoni, H.; Terra, V. S. S.; Timm, L. C.; Júnior, C. R., Monteiro, A. B. Delineation of management zones in a peach orchard using multivariate and geostatistical analyses. **Soil and Tillage Research**, v. 191, p. 1-10, 2019.

Ozgoz, E.; Gunal, H.; Acir, N.; Gokmen, F.; Birol, M.; Budak, M. Soil quality and spatial variability assessment of land use effects in a typic haplustoll. **Land Degradation & Development**, v. 24, p. 277-286, 2011.

Pauler, C. M.; Isselstein, J.; Suter, M.; Berard, J.; Braunbeck, T.; Schneider, M. K. Choosy grazers: Influence of plant traits on forage selection by three cattle breeds. **Functional Ecology**, v. 34, p. 980-992, 2020.

R Core Team, 2019. R: A Language and Environment For statistical Computing [internet]. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria Available at: <http://www.Rproject.org> (Accessed 28.01.20).

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.

Reynolds, W.D.; Bowman, B.T.; Drury, C.F.; Tan, C.S.; Lu, X. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, p. 131-146, 2002.

Reza, S. K.; Nayak, D. C.; Chattopadhyay, T.; Mukhopadhyay, S.; Singh, S. K.; Srinivasan, R. Spatial distribution of soil physical properties of alluvial soils: a geostatistical approach. **Archives of agronomy and soil science**, v. 62, p. 972-981, 2016.

Soil Survey Staff. (2017). Soil survey manual (USDA Handbook 18). Washington, D.C.: Government Printing Office.

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

Tavanti, R. F. R.; da Silva Freddi, O.; Marchioro, V.; Tavanti, T. R.; Galindo, F. S.; Wruck, F. J.; Shiratsuchi, L.; Breda, C. C. Least limiting water as a soil indicator in an integrated crop-livestock systems of the Cerrado, Brazil. **Geoderma regional**, v. 19, p. e00232, 2019.

Timm, L. C.; Pires, L. F.; Centeno, L. N.; Bitencourt, D. G. B.; Parfitt, J. M. B.; Campos, A. D. S. Assessment of land levelling effects on lowland soil quality indicators and water retention evaluated by multivariate and geostatistical analyses. **Land Degradation & Development**, v. 31, n. 8, p. 959-974, 2020.

Vasques, G.V. Headwaters deforestation for cattle pastures in the Andes of Colombia and its implications for soils properties and hydrological dynamic. **Open Journal of Forestry**, v. 6, p. 337-347, 2016.

Vieira, S. R.; Grego, C. R.; Topp, G. C.; Reynolds, W. D. Spatial relationships between soil water content and hydraulic conductivity in a highly structured clay soils. In: **Application of Soil Physics in Environmental Analyses**. Springer, Cham, 2014. p. 75-90.

Warrick, A.W.; Nielsen, D. R. (1980) Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. *Applications of soil physics* (p.319-344). New York, Academic.

Zhang, B.; Beck, R.; Pan, Q.; Zhao, M.; Hao, X. Soil physical and chemical properties in response to long-term cattle grazing on sloped rough fescue grassland in the foothills of the Rocky Mountains, Alberta. **Geoderma**, v. 346, p. 75-83, 2019.

Zhang, J.; Zuo, X.; Zhou, X.; Lv, P.; Lian, J.; Yue, X. ZHANG, Jing et al. Long-term grazing effects on vegetation characteristics and soil properties in a semiarid grassland, northern China. **Environmental monitoring and assessment**, v. 189, p. 216, 2017.

Plasticidade fenotípica e respostas comportamentais de bovinos de leite em pastejo rotacionado

RESUMO - O estresse por calor é um dos desafios ambientais mais importantes enfrentados por bovinos de leite, com efeito deletério na produção e no bem-estar animal. Esta pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar os efeitos do ambiente térmico nas respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos de leite em piquete rotacionado. A pesquisa foi conduzida em fazenda experimental, localizada na região Agreste do estado de Pernambuco, Brasil. Os animais foram manejados em sistema de piquetes rotacionado de capim braquiária, com período de ocupação e descanso de 7 e 28 dias, respectivamente, para uma taxa de lotação de 3,2 UA ha⁻¹. A determinação do efeito dos agentes estressores sobre os animais foi realizada por meio do registro da temperatura de bulbo seco (°C) e da umidade relativa do ar (%), o que permitiu a caracterização do ambiente térmico pelo índice de temperatura e umidade e pela entalpia específica (kJ kg⁻¹). As variáveis fisiológicas monitoradas foram a frequência respiratória (mov. min⁻¹), a temperatura retal (°C) e a temperatura de pelame (°C). As respostas comportamentais quantificadas foram as atividades, andando, ruminando, ócio e os comportamentos ingestivos, comendo e bebendo, com o registro da porcentagem de tempo despendido em cada atividade. De acordo com a análise multivariada canônica, o teste de qui quadrado e a variação dos padrões fisiológicos, os animais mesmo em situação de maior desafio térmico, apresentaram respostas fisiológicas dentro das condições consideradas normais, no entanto, reduziram a atividade de pastejo (comendo) nos horários mais quentes e aumentaram as atividades de ruminação e ócio.

Palavras-chave: adaptabilidade animal, componentes principais, conforto térmico animal.

Phenotypic plasticity and behavioral responses of dairy cattle on rotational grazing

ABSTRACT - Heat stress is one of the most important environmental challenges faced by dairy cattle, with a deleterious effect on animal production and welfare. This research was conducted with the objective of evaluating the effects of the thermal environment on the physiological and behavioral responses of dairy cattle in a rotational paddock. The research was conducted in an experimental farm, located in the Agreste region of the state of Pernambuco, Brazil. The animals were managed in a rotational paddock system of signal grass, with an occupation and rest period of 7 and 28 days, respectively, for a stocking rate of 3.2 AU ha⁻¹. The determination of the effect of stressors on the animals was performed by recording the dry bulb temperature (°C) and the relative humidity (%), which allowed the characterization of the thermal environment by the temperature and humidity index and by the specific enthalpy (kJ kg⁻¹). The physiological variables monitored were respiratory rate (mov. min⁻¹), rectal temperature (°C) and skin temperature (°C). The behavioral responses quantified were activities, walking, ruminating, leisure and ingestive behaviors, eating and drinking, with the percentage of time spent on each activity being recorded. According to the canonical multivariate analysis, the chi-square test and the variation of physiological patterns, the animals, even in a situation of greater thermal challenge, presented physiological responses within conditions considered normal, however, they reduced grazing activity (eating) during the hottest hours and increased the activities of rumination and leisure.

Key words: animal adaptability, main components, animal thermal comfort.

INTRODUÇÃO

A zona tropical, onde grande parte da produção agrícola e pecuária mundial está estabelecida, representa um ambiente térmico desafiador para os animais de produção (DOMICIANO et al., 2016). Os bovinos são animais homeotérmicos, que mantêm sua temperatura corporal interna relativamente constante, independentemente das flutuações meteorológicas, devido a ajustes fisiológicos, comportamentais e metabólicos. Portanto, a energia utilizada para a manutenção da homeotermia pode causar perdas significativas de produtividade (GIRO et al., 2019).

Os bovinos de leite a pasto, normalmente dividem o seu dia de trabalho em períodos alternados de pastejo, ruminação e ócio, destinando, em média, cerca de um terço do dia ou 8 horas para cada atividade (PEREIRA et al., 2018). Este padrão característico também pode ser alterado por atividades de rotina como ordenha, mudança de piquetes em situações de pastejo rotacionado, qualidade da forragem e, excepcionalmente, por condições extremas de tempo, muito embora seja bastante estável na maioria das situações, em que todos os animais do grupo ou rebaho tendem a seguir o mesmo padrão (LIU et al., 2017).

O estresse térmico é definido como a soma dos fluxos de energia, sensíveis e latente, que atuam sobre o animal, ocasionando aumento na temperatura do corpo. O fluxo excessivo de energia na forma de calor sensível sob as vacas de leite, faz com que os animais esgotem sua energia para manter a termorregulação, assim, a atividade animal como lactação e crescimento são afetadas, a menos que o animal possa ativar vários mecanismos adaptativos para aumentar a dissipação de energia para o ambiente (POLSKY & KEYSERLINGK, 2017).

Com ênfase nos critérios das respostas comportamentais em função das condições térmicas do ambiente, vários estudos têm sido realizados para observar as mudanças nos padrões comportamentais e de parâmetros fisiológicos dos animais, dentre eles, Peixoto et al. (2019) utilizaram imagens termográficas por infravermelho para detectar estresse térmico em bovinos; Jara et al. (2016) avaliaram a partir dos índices de conforto térmico, que o comportamento dos animais foi modificado nos horários de maior temperatura e índice de temperatura e umidade, no entanto, os autores indicaram que a produção não foi afetada, em virtude de possível adaptação dos animais a região de estudo.

Para melhor compreensão das características comportamentais e fisiológicas de um animal, relacionadas as condições impostas pelo ambiente térmico, a abordagem de análises multivariadas, por considerar todas as variáveis simultaneamente, vem sendo utilizada por vários pesquisadores para melhor entendimento do ambiente pastoril (CÓRDOVA et al. 2020, MOLNÁR et al. 2020, VASCONCELOS et al. 2020). Assim, as técnicas de análise multivariada podem ajudar na interpretação de um grande conjunto de variáveis, reduzindo um conjunto original de variáveis a um menor número de fatores independentes, o que permite interpretações mais consistentes (VASCONCELOS et al. 2020). Batista et al. (2019) utilizaram a técnica estatística multivariada para analisar em conjunto os dados ambientais, comportamentais e fisiológicos dos animais e indicaram adaptação das novilhas ao pastejo contínuo, mesmo em condições meteorológicas críticas.

Os bovinos podem alterar seu comportamento e suas características fisiológicas em resposta as mudanças ambientais relacionadas ao seu conforto térmico. Dessa forma, objetivou-se avaliar os efeitos do ambiente térmico nas respostas fisiológicas e comportamentais de bovinos de leite em piquete rotacionado.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), localizada no município de Garanhuns-PE, Mesorregião Agreste do estado de Pernambuco, latitude de 8° 58' S, longitude de 36° 27' W e altitude de 866 m (Figura 1).

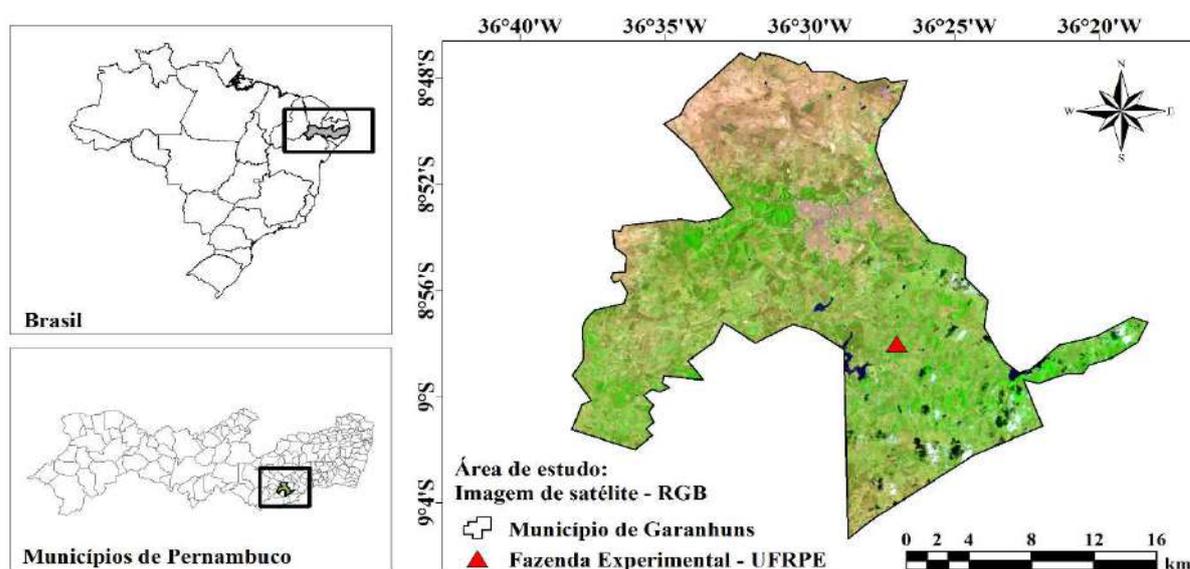


Figura 1. Mapa de localização da Fazenda Experimental da UFRPE no município de Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como mesotérmico tropical de altitude (Cs'a). A temperatura média anual é de 20 °C e a precipitação pluviométrica média anual de 908,6 mm (AZAMBUJA & CORRÊA, 2015). Com base nos dados da estação meteorológica presente na fazenda foi possível a caracterização da precipitação pluviométrica ($\Sigma= 175,80$ mm), temperatura máxima ($\bar{x}= 26,35$ °C), temperatura mínima ($\bar{x}= 17,53$ °C) e velocidade do vento ($\bar{x}= 2,40$ m s⁻¹), no período de estudo, de 07/08 a 25/10/2019 (Figura 2).

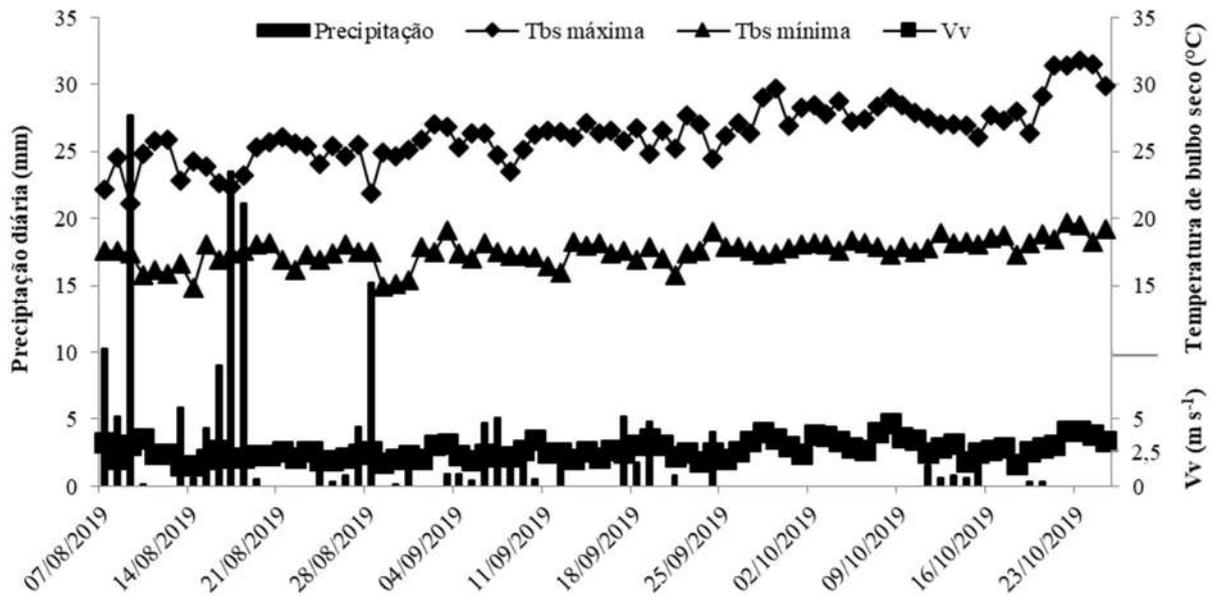


Figura 2. Caracterização da precipitação pluviométrica, temperatura de bulbo seco e velocidade do vento no período de estudo 07/08 à 25/10/2019

O estudo foi conduzido sob pastagem de *Brachiaria decumbens*, em uma área de 50 x 50 m (Figura 3), manejada em sistema de pastejo rotacionado, com período de ocupação e descanso de 7 e 28 dias, respectivamente, para uma taxa de lotação de 3,2 UA ha⁻¹.

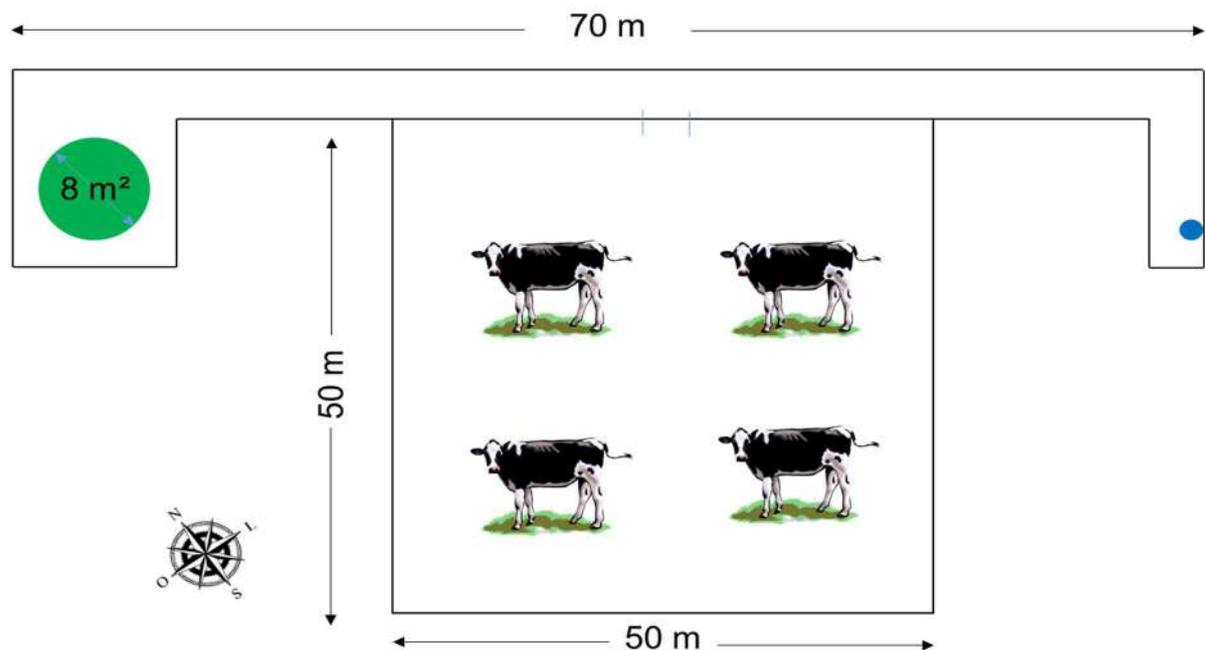


Figura 3. Croqui da área de pastagem. Área de sombra para os animais (●), bebedouro (●), entrada para acesso dos bovinos às áreas contíguas (||).

Foram utilizadas quatro vacas de leite mestiças (3/4 Holandês-Zebu) durante ciclo de pastejo de 77 dias, que se iniciou quando o pasto estava com altura média de 0,60 m. Anexo ao piquete, disponibilizou-se área de sombra natural constituída de raio de 8 m e bebedouro, de livre acesso aos animais, interligadas por um corredor de 3 m de largura (Figura 3).

As variáveis meteorológicas temperatura de bulbo seco (T_{bs} ; °C) e umidade relativa do ar (UR; %) foram registradas a cada dez minutos, na área de sombra para os animais e em abrigo meteorológico, por meio de datalogger modelo Hobo U12-12 (Onset Computer Corporation Bourne, MA, USA). Os sensores foram fixados no interior de abrigo meteorológico adjacente a área de pastagem, a 1,50 m do solo, e na área sombreada.

A velocidade do vento ($m\ s^{-1}$) foi registrada uma vez a cada período de pastejo, em dia coincidente com a avaliação dos registros fisiológicos, a cada hora, das 6 às 18 h, com auxílio de um anemômetro de hélice da marca AZ Instrument®, modelo 8908.

A caracterização térmica do ambiente foi realizada por meio do índice de temperatura e umidade (ITU) Eq. 1, proposto por Thom (1959) e da entalpia específica (h , $kJ\ kg^{-1}$ de ar seco) sugerida por Rodrigues et al. (2011) por meio da Eq. 2.

$$ITU = T_{bs} + 0,36 \times T_{po} + 41,5 \quad (1)$$

em que:

T_{bs} - temperatura de bulbo seco, °C;

T_{po} - temperatura de ponto de orvalho, °C; $T_{po} = (186,4905 - 237,3 \log e) / (\log e - 8,2859)$

e - pressão atual real de vapor d'água na atmosfera, hPa.

$$h = 1,006 \times T_{bs} + \frac{UR}{P_{atm}} \times 10^{\left(\frac{7,5 \times T_{bs}}{237,3 + T_{bs}}\right)} \times (71,28 + 0,052 \times T_{bs}) \quad (2)$$

em que:

T_{bs} - Temperatura de bulbo seco, °C;

UR - umidade relativa, %;

P_{atm} - pressão atmosférica do local, mmHg.

As variáveis fisiológicas monitoradas foram a temperatura retal (TR; °C), a frequência respiratória (FR; $mov\ min^{-1}$) e a temperatura de pelame (TP; °C), das 6 às 18 h, no intervalo de 3 h, uma vez a cada período de 7 dias de pastejo, em dias não coincidentes com a análise comportamental (Figura 4). O registro da FR foi realizado a partir da contagem do número de movimentos da região do flanco, no intervalo de 1 min. Após o registro da FR, foram tomadas

as medidas da TR, com auxílio de termômetro digital de uso veterinário, escala entre 20 e 50 °C, introduzido no reto dos animais, durante 1 min, para estabilização e obtenção do valor da temperatura.

A temperatura de pelame foi obtida a partir de imagens térmicas, registradas por meio de uma câmera termográfica, modelo FLIR i60, para determinação da temperatura superficial média dos animais, delimitada por área que compreendeu a região do tórax e abdômen. As imagens foram registradas do lado direito dos animais, a uma distância de 2,50 m e corrigidas pelo software FLIR QuickReport, em que se admitiu emissividade de 0,98 (MONTANHOLI et al., 2009) e as variáveis termohigrométricas no momento de obtenção das imagens.

As atividades comportamentais dos animais foram quantificadas uma vez a cada 7 dias de pastejo, no decorrer de 24 h (Figura 4). As atividades dos animais, andando, ruminando, ócio; os comportamentos ingestivos, comendo e bebendo e, a postura dos animais, em pé e deitado, baseou-se no etograma desenvolvido por Almeida et al. (2013), adaptado do método de varredura instantânea (ALTMANN, 1974), com registro do comportamento animal a cada 10 min, no intervalo de 3 h. Toda atividade realizada na área de sombra (Figura 3) também foi registrada, afim de quantificar a permanência dos animais na área sombreada.

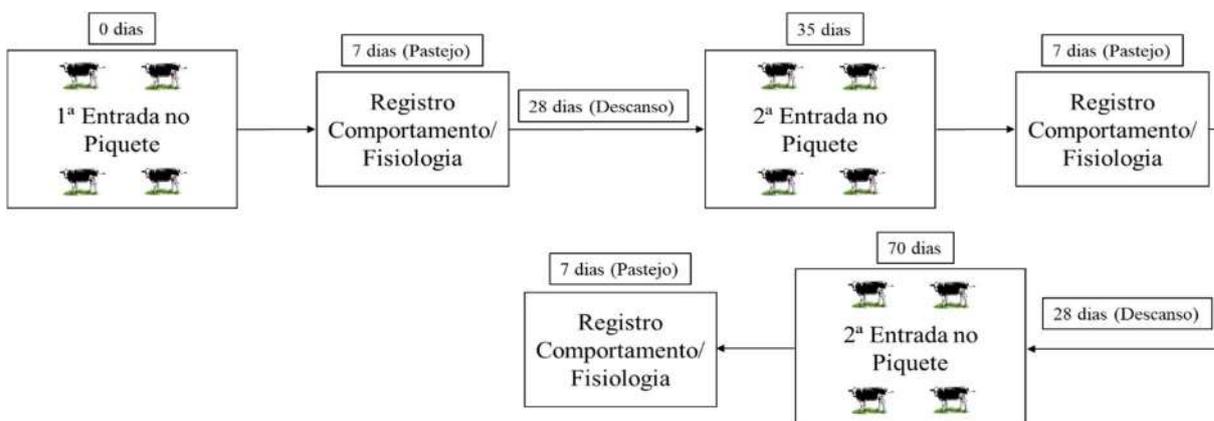


Figura 4. Ciclo de pastejo e período de avaliações.

Durante os três ciclos de pastejo o posicionamento dos animais foi monitorado por meio de um sistema embarcado desenvolvido por pesquisadores do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) e do Departamento de Estatística e Informática (DEINFO) da Universidade Federal Rural de Pernambuco. O dispositivo é baseado na plataforma TTGO T-BEAM que consiste em um microcontrolador ESP32 conectado a um módulo GPS u-blox NEO-6M e a um módulo de comunicação LoRa SX1276. A placa apresenta as dimensões de

100 mm x 39 mm x 19 mm. O equipamento foi alimentado por uma bateria de íon-lítio padrão 18650 com capacidade de fornecer 3800 mAh. Todo o equipamento foi integrado e embarcado em um colar que ficou preso ao pescoço do animal.

As variáveis comportamentais foram submetidas à análise de distribuição de porcentagem do tempo despendido em cada comportamento, analisado pelo teste de qui-quadrado e probabilidade, subdivididas em intervalos de 3 horas, por meio do programa SAS Institute Inc. (2016).

O conjunto de dados do posicionamento dos animais foram analisados a partir da obtenção dos focos de permanência dos animais e estimadas as suas densidades dentro da área de estudo, aplicando o estimador de densidade de Kernel pelo software QGIS 3.1. O estimador de densidade de Kernel desenha uma vizinhança circular ao redor de cada ponto da amostra, correspondendo ao raio de influência e então é aplicada uma função matemática de 1, na posição do ponto, a 0, na fronteira da vizinhança. O valor para a célula é a soma dos valores kernel sobrepostos, e divididos pela área de cada raio de pesquisa (SILVERMAN, 1986).

As variáveis meteorológicas (Tbs e UR), atividades (andando, ruminando e ócio), os comportamentos ingestivos (bebendo e comendo), postura (em pé e deitado), permanência na sombra, o índice de temperatura e umidade (ITU) e a entalpia específica (h) foram submetidas à análise discriminante canônica em uma abordagem multivariada, com o propósito de agrupar e reduzir as variáveis originais. A representação gráfica com escores canônicos, para os períodos de pastejo, foi utilizado para representar a variável canônica resultante. Todos os procedimentos empregados para a análise multivariada foram realizados no pacote Candisc do software R (R CORE TEAM, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que o primeiro período de pastejo apresentou temperaturas mais amenas e o terceiro ciclo temperaturas superiores aos dos ciclos anteriores, logo, esse aumento da temperatura de bulbo seco (Tbs) entre os ciclos de pastejo correspondeu em valores médios 4,3 °C para a Tbs no pasto e de 2,5 °C para Tbs na sombra (Figura 5A e 5B). O maior valor médio da temperatura de bulbo seco (Tbs) ocorreu às 15h00, sendo que a umidade relativa do ar (UR) apresentou variação inversamente proporcional a Tbs, durante todos os períodos de estudo, sendo a UR mais elevada no período noturno (Figura 5A e 5B).

A Tbs representa um fator determinante para as trocas de calor sensíveis, quando ultrapassa a zona de conforto térmico, induz o animal a ativar mecanismos termorreguladores

como o aumento das taxas respiratórias, da sudorese, além de alterações do sistema endócrino, com elevação da temperatura corporal (DENIZ et al., 2019).

Para bovinos, as melhores condições térmicas se encontram entre 10 e 27 °C, com umidade relativa do ar de 60 a 70% e velocidade do vento de 1,4 a 2,2 m s⁻¹ (BAÊTA & SOUZA, 2010), o que facilita os processos de transferência de energia térmica por meios sensíveis, radiação, convecção e condução.

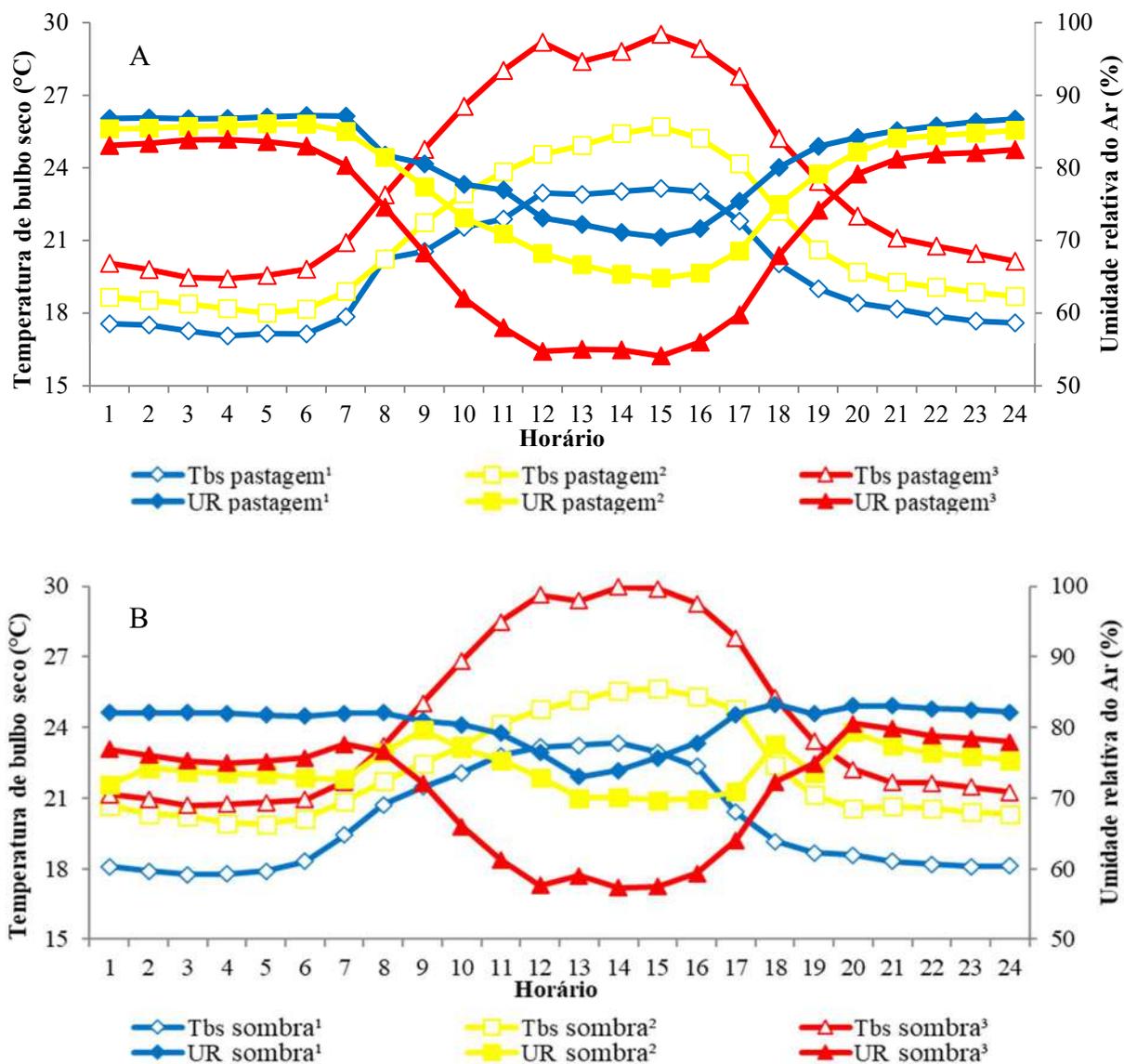


Figura 5. Variação média horária da temperatura de bulbo seco (°C) e da umidade relativa do ar (%) na área de sombra (A) e na pastagem (B). ¹primeira passagem dos animais no piquete; ²segunda passagem dos animais no piquete e ³terceira passagem dos animais no piquete.

No entanto, as conjunturas sugeridas por Baêta & Souza (2010) não foram superadas no ambiente de estudo, no primeiro e no segundo período de pastejo, tanto na área de pastagem quanto à sombra, logo, os limites foram excedidos no terceiro ciclo de pastejo no intervalo das 11h00 às 17h00 (Figura 5A e 5B), nesse espaço de tempo, em média, a Tbs foi superior 1,66 °C do valor considerado ideal de 27 °C, com máximo às 15h00, horário em que a Tbs atingiu 29,51 °C. Logo, a velocidade do vento (Figura 2) pode ter amenizado a sensação de calor quando a temperatura de bulbo seco ultrapassou 27 °C.

Em concordância, Ferrazza et al. (2017) que estudaram as respostas termorregulatórias de vacas Holandesas, identificaram as maiores médias de Tbs no período da tarde ($36,3 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$), assim como, a UR apresentou valores inversamente proporcionais a Tbs (UR $60,9 \pm 0,9\%$).

Em todos os períodos avaliados as maiores médias de Tbs (Figura 5A e 5B), índice de temperatura de umidade - ITU (Figura 6) e entalpia - h (Figura 7) foram registradas na área de pastagem, com reduções na área de sombra. Esses achados reforçam Karvatte et al. (2016), que estudaram o efeito de sombreamento nos índices de conforto térmico em uma zona de transição entre climas temperado e tropical e, observaram as maiores temperaturas entre 12h00 e 13h00 em pleno sol, logo, o sombreamento das árvores reduziu em até 3,7% o ITU.

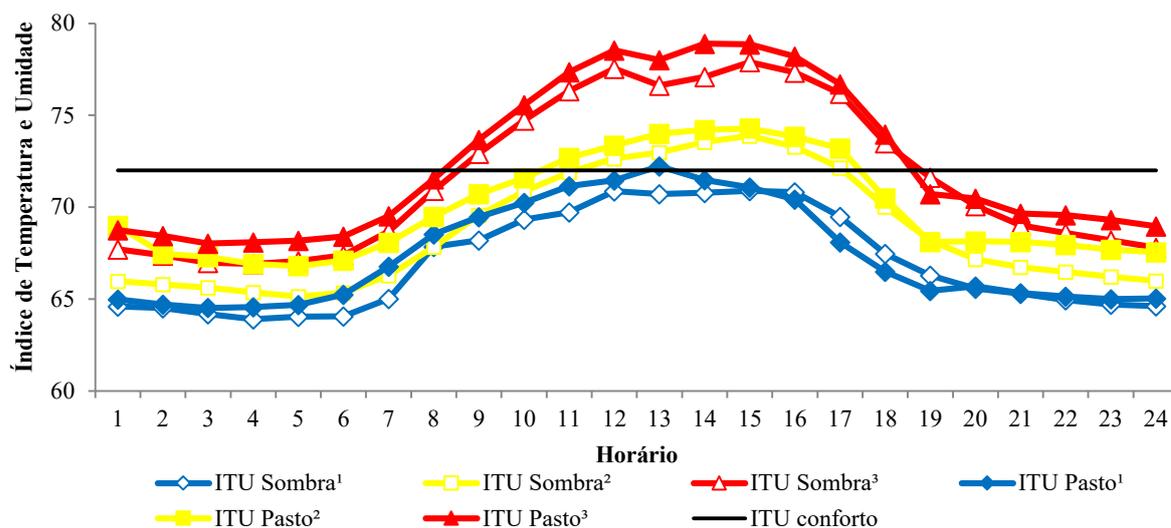


Figura 6. Variação média horária do índice de temperatura e umidade (ITU) na área de sombra e na pastagem. ¹primeira passagem dos animais no piquete; ²segunda passagem dos animais no piquete e ³terceira passagem dos animais no piquete.

No presente estudo o índice de temperatura e umidade (ITU) na pastagem e à sombra no primeiro período de pastejo não superaram o valor de 72, que é sugerido por Armstrong (1994) como limite ideal para o conforto térmico de bovinos de leite. Logo, no segundo período de pastejo esse valor foi superado no intervalo das 12h00 e 17h00 e, no terceiro período de pastejo, das 09h00 às 18h00, no entanto, não ultrapassaram a classificação amena (72 a 78). Assim, nota-se que de acordo com os valores de ITU os animais estavam dentro dos limites críticos superior e inferior, em todos os períodos do estudo, uma vez que, vacas mestiças são mais adaptadas ao clima tropical e podem tolerar ITU de até 77 (SOUZA et al., 2019).

Resultados semelhantes foram encontrados por Deniz et al. (2019), que avaliaram o conforto térmico em condições de sombra e sol durante o pastejo de vacas de leite e observaram que durante o verão o ITU variou entre 72 e 82, o que de acordo com os autores não foi suficiente para levar os animais ao desconforto térmico.

A variação média horária da entalpia específica (h) para pastagem e à sombra (Figura 7), não apresentou condição de desconforto na primeira passagem dos animais pelo piquete, logo, o limite crítico estabelecido por Almeida et al. (2011) de $67,4 \text{ KJ kg}^{-1}$ foi superado na segunda e na terceira passagem dos animais no campo de pastejo, respectivamente, entre às 11h00 e 17h00 e das 09h00 às 18h00.

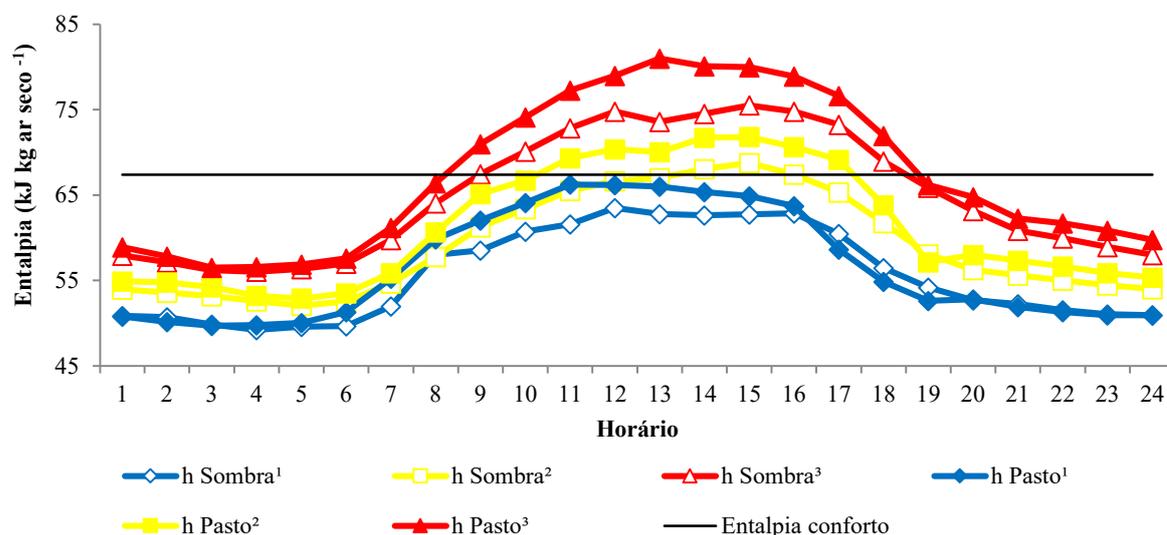


Figura 7. Variação média horária da entalpia específica (h) na área de sombra e na pastagem. ¹primeira passagem dos animais no piquete; ²segunda passagem dos animais no piquete e ³terceira passagem dos animais no piquete.

Os resultados apontam frequência respiratória (FR) considerada normal, entre 18 e 60 mov min⁻¹ (HAHN et al., 1997), no decorrer do período de estudo (Tabela 1), o que sinaliza adaptação dos animais ao desafio imposto pelo ambiente de produção. Sendo que quando observado os valores mínimos, máximos e médios, verifica-se que a FR sofreu alterações durante os períodos de estudo, sendo maior nos ciclos que apresentaram elevada Tbs, h e ITU. O aumento da FR é um sinal de que os animais intensificaram os processos sensível e latente de perda de calor, na tentativa de manter a temperatura corporal dentro da normalidade fisiológica, uma vez ofegante, o bovino intensifica a troca de calor por convecção e pela evaporação de umidade do trato respiratório (BARNABÉ et al., 2015).

Do mesmo modo, a temperatura retal (TR) dos animais se manteve em todos os períodos do estudo, dentro dos valores fisiológicos normais (Tabela 1) de 38 à 39 °C (ROBERTSHAW, 2006), o que indica condição de conforto térmico dos animais e adaptabilidade as condições climáticas da região.

Tabela 1. Variação da frequência respiratória (FR, mov min⁻¹); temperatura retal (TR, °C) e temperatura de pelame (TP, °C) dos animais.

Variáveis	¹ MÍN	² MÁX	MÉDIA	MEDIANA	³ DP	⁴ CV
FR ¹	40,00	64,00	51,47	52,00	6,74	0,13
TR ¹	37,00	38,80	37,95	38,00	0,50	0,01
TP ¹	27,60	39,40	32,01	32,35	3,37	0,11
FR ²	48,00	72,00	56,00	52,00	6,23	0,11
TR ²	38,00	39,00	38,51	38,60	0,27	0,01
TP ²	26,90	42,10	32,49	30,90	4,85	0,15
FR ³	52,00	72,00	62,67	60,00	7,35	0,12
TR ³	37,70	40,10	38,66	38,70	0,58	0,02
TP ³	30,10	39,30	34,67	34,50	2,71	0,08

¹MÍN - mínimo; ²MÁX - máximo; ³DP - desvio padrão; ⁴CV (%) - coeficiente de variação.

¹primeira passagem dos animais no piquete; ²segunda passagem dos animais no piquete e

³terceira passagem dos animais no piquete.

A temperatura de pelame (TP) dos animais apresentou valores dentro da faixa de conforto (Tabela 1), que segundo Martello et al. (2016) oscila de 31,6 a 34,7 °C. Em estudo realizado na região semiárida do estado do Ceará, Peixoto et al. (2019) observaram TR e TP acima dos limites sugeridos, durante o estudo a Tbs e UR apresentaram para o período da manhã e tarde valores da ordem de 29,9 a 35,0 °C e de 53 a 33%, respectivamente, os autores destacam que os animais sofreram estresse térmico.

As variáveis fisiológicas FR, TR e TP (Tabela 1) não indicam situação de estresse térmico aos animais, apesar do ITU e h apresentarem em alguns horários do segundo e terceiro ciclo de pastejo, valores superiores aos limites considerados ideais para o conforto térmico dos animais. Portanto, os indicadores de adaptabilidade, associado à transferência de energia por convecção entre os animais e o ambiente atenuaram os efeitos dos agentes estressores. Como também, a velocidade do vento, que se manteve na faixa considerada ideal para bovinos, apresentando média de $2,72 \text{ m s}^{-1}$ (Figura 2), o que favoreceu à eficiência dos mecanismos termorregulatórios.

Esses resultados corroboram Santos et al. (2018), que em estudo da resposta fisiológica de bovinos de leite em diferentes épocas do ano, alcançaram, no outono e na primavera, valores médios para FR, TR e TP de $33,2 \text{ mov. min}^{-1}$, $38,17 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $30,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e, de $33,7 \text{ mov. min}^{-1}$, $38,17 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $33,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. De acordo com os autores, as variáveis ambientais nas duas estações do ano não promoveram grandes alterações nas respostas fisiológicas e produtivas dos animais, indicando sua adaptação às condições climáticas do ambiente de criação.

Do mesmo modo, Cruz et al. (2016) observaram que a resposta fisiológica de vacas girolandas (7/8 Holandês 1/8 Gir) em Tapira- MG, apresentaram valores médios para FR, TR e TP de $39,2 \text{ mov. min}^{-1}$, $38,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $30,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Admitindo-se que as condições térmicas da localidade, estiveram dentro da zona de termoneutralidade ($T_{bs} 21,66 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e UR 70%), ou seja, as vacas não sofreram estresse térmico e os animais apresentaram características de termorregulação com mínima translocação de energia de produção para manutenção da homeotermia.

As respostas comportamentais na primeira passagem dos animais no piquete, as vacas apresentaram considerável frequência do comportamento ingestivo comendo (39,11%) das 06h00 às 21h00 (Tabela 2), intercalados por períodos da atividade ruminação (13,72%), nesse ciclo, os valores de ITU e h se mantiveram sempre na faixa considerada ideal para bovinos de leite. A atividade de ócio (43,06%) prevaleceu entre às 21h00 e 06h00 (Tabela 2).

No segundo ciclo de pastejo, o comportamento comendo (42,53%) foi maior entre às 09h00 e 18h00, enfatizando a tolerância dos animais às condições ambientais impostas, no entanto, também se identificou ingestão de pasto (6,42%) entre às 00h00 e 03h00. Nesse ciclo os animais se mantiveram por expressiva quantidade de tempo na atividade de ócio (46,35%).

Os menores valores da atividade de ruminação foram observados no primeiro e no segundo ciclo de pastejo (Tabela 2), o que pode ter ocorrido devido à preferência dos animais pelo comportamento comendo associado a menor disponibilidade de pasto, portanto, os animais

em estudo permaneceram com suas atividades normais, sem alterações comportamentais causadas pelo estresse térmico nesses períodos de pastejo.

No presente estudo em todos os ciclos de pastejo a porcentagem de tempo despendida pelos animais na atividade ócio foi superior a 40% (Tabela 2), com prevalência no período noturno, assim, não foram observadas alterações de comportamento para minimizar um possível efeito do estresse térmico, contudo, os animais estavam em ócio durante a noite para metabolizar os alimentos consumidos ao longo do dia.

Tabela 2. Porcentagem de tempo despendido pelos animais em cada atividade. ¹primeira passagem dos animais no piquete; ²segunda passagem dos animais no piquete e ³terceira passagem dos animais no piquete.

Intervalos	00h – 03h	03h – 06h	06h – 09h	09h – 12h	12h – 15h	15h – 18h	18h – 21h	21h – 00h	Total (%)
Andando¹	0,00	0,00	0,35	0,35	0,00	0,69	0,00	0,17	1,56
Bebendo¹	0,00	0,00	0,00	2,08	0,00	0,17	0,00	0,00	2,26
Comendo¹	0,87	1,91	7,81	5,90	7,47	7,64	4,86	2,95	39,41
Ruminando¹	0,69	0,52	2,43	1,91	1,91	1,91	2,08	2,26	13,72
Ócio¹	10,94	10,07	1,91	2,26	3,13	2,08	5,56	7,12	43,06
Total¹	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	100
Qui-quadrado ¹ 263,0046									Probabilidade 0,001
Andando²	0,00	0,00	0,00	1,39	0,69	0,00	0,00	0,17	2,26
Bebendo²	0,00	0,00	0,00	0,69	0,52	0,52	0,00	0,00	1,74
Comendo²	6,42	0,17	1,74	10,42	10,07	8,85	2,08	2,78	42,53
Ruminando²	0,00	1,74	3,47	0,00	0,69	0,52	0,69	0,00	7,12
Ócio²	6,08	10,59	7,29	0,00	0,52	2,60	9,72	9,55	46,35
Total²	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	100
Qui-quadrado ² 372,6541									Probabilidade 0,001
Andando³	0,17	0,00	0,00	0,17	0,17	0,17	0,00	0,17	0,87
Bebendo³	0,00	0,00	0,00	0,35	0,35	0,17	0,00	0,00	0,87
Comendo³	1,22	1,39	5,73	4,17	5,73	8,68	0,17	2,6	29,69
Ruminando³	0,35	1,91	2,78	4,69	4,51	2,08	4,86	2,78	23,96
Ócio³	10,76	9,2	3,99	3,13	1,74	1,39	7,47	6,94	44,62
Total³	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	100
Qui-quadrado ³ 226,3515									Probabilidade 0,001

Os achados relacionados a atividade de ruminação e ócio do presente estudo corroboram Pereira et al. (2018), que em pesquisa sobre o efeito do ambiente climático no comportamento ingestivo de vacas Holandês x Zebu, observaram maior tempo de ruminação após o

comportamento comendo e a atividade ócio predominou durante a madrugada, ainda conforme os autores, os animais estudados não alteraram o comportamento ingestivo por conta do ambiente térmico.

No terceiro ciclo de pastejo, os animais apresentaram a menor percentagem do comportamento ingestivo comendo (29,69%), com o pastejo preferencial (8,68%) entre às 15h00 e 18h00, ou seja, quando a Tbs se apresentava mais amena. Logo, os bovinos têm o hábito de selecionar a pastagem de melhor qualidade, portanto, os ciclos de pastejo anteriores juntamente com a ação do pisoteio dos animais no piquete, podem ter reduzido a qualidade e a oferta de forragem, o que afetou o comportamento comendo. Esse também foi o ciclo em que os animais apresentaram a maior frequência a atividade ruminando (23,96%), assim como o ócio (44,62%), esses fatores também podem estar relacionados com ambiente térmico, uma vez que, os bovinos tendem a reduzir o tempo de ruminação e aumentar o ócio em épocas de temperaturas mais elevadas, na tentativa de restabelecer o equilíbrio térmico.

No entanto, os animais no terceiro ciclo de pastejo podem ter aumentado a frequência de ruminação para potencializar a menor quantidade de alimento ingerida, com aumento do ócio, como resposta a temperatura do ar mais alta nesse ciclo, além da redução da qualidade e da quantidade de forragem.

A atividade bebendo em ambos os ciclos de pastejo foi maior das 09h00 às 12h00, esse horário coincide com o período de elevado ITU (Figura 6) e h (Figura 7), concomitante a supressão da ingestão de alimento pelos animais. Esse efeito indica o maior consumo de água nos períodos mais quentes e após o comportamento ingestivo comendo. Portanto, os resultados corroboram Batista et al. (2019), que relataram que a ingestão de água está associada à temperatura ambiente, umidade relativa do ar, radiação solar e ingestão de matéria seca.

Comportamento animal semelhantes ao presente estudo foram encontrados por Pérez et al. (2017) em pesquisa relacionada à disposição dos animais em área de pastejo, utilizando sistema de posicionamento global em novilhos da raça Lídia, em que os autores destacaram a preferência dos bovinos ao pastejo das 5h00 às 21h00, ao bebedouro entre 16h00 e 17h00 e a área de descanso foi mais frequentada das 20h00 até às 3h00. Assim como Hilario et al. (2017), em estudo dos padrões comportamentais de bovinos em pastejo, por meio de observações visuais, verificaram que o gado utilizou em média 47% do tempo no comportamento ingestivo comendo, 6% em caminhada e 47% na atividade ruminação/ócio. Os autores destacaram que os ruminantes preferiram o pastoreio entre 06h00 e 7h00, 11h00 e 12h00 e das 18h00 às 19h00, intercalados por períodos de ruminação/ócio.

Os mapas de densidade de Kernel (Figura 8) mostram que os animais das 21h00 às 03h00 apresentaram maior permanência na região Nordeste (NE) do piquete, portanto, a partir dessas informações de posicionamento em conjunto com as observações visuais, pode-se indicar como área de descanso para os animais. Entretanto, no crepúsculo (03h00 às 09h00) nota-se uma transição da área (NE) para uma alta permanência na região Noroeste (NO) o que possivelmente aponta uma área de preferência de pastejo.

Entre às 09h00 e 18h00, com o aumento da temperatura e dos índices de conforto térmico, os animais em estudo diminuíram a sua permanência na área de pastejo e passaram a frequentar com maior intensidade a área de sombra, como também o bebedouro. De acordo com Tofastrud et al. (2018) a temperatura ocasiona variações na atividade de pastejo. Logo, Schoenbaum et al. (2017) relatam em seu estudo que o tempo total de pastejo diminuiu por volta das 12h00, nos períodos de alta temperatura.

Dentre às 18h00 e 21h00, os animais apresentaram maior permanência no campo de pastejo, sendo mais alta na área noroeste, observa-se também, uma transição dos animais dessa região para área de descanso a nordeste do piquete.

Esses achados corroboram Perez et al. (2017) em estudo da distribuição espacial de gado Lidia com tecnologia GPS, em que os autores verificaram que a zona de alimentação é frequentada durante o momento de máxima atividade, entre às 05h00 às 21h00, enquanto a área de bebedouro das 16h00 às 19h00 e a área de descanso durante toda a noite das 20h00 às 03h00.

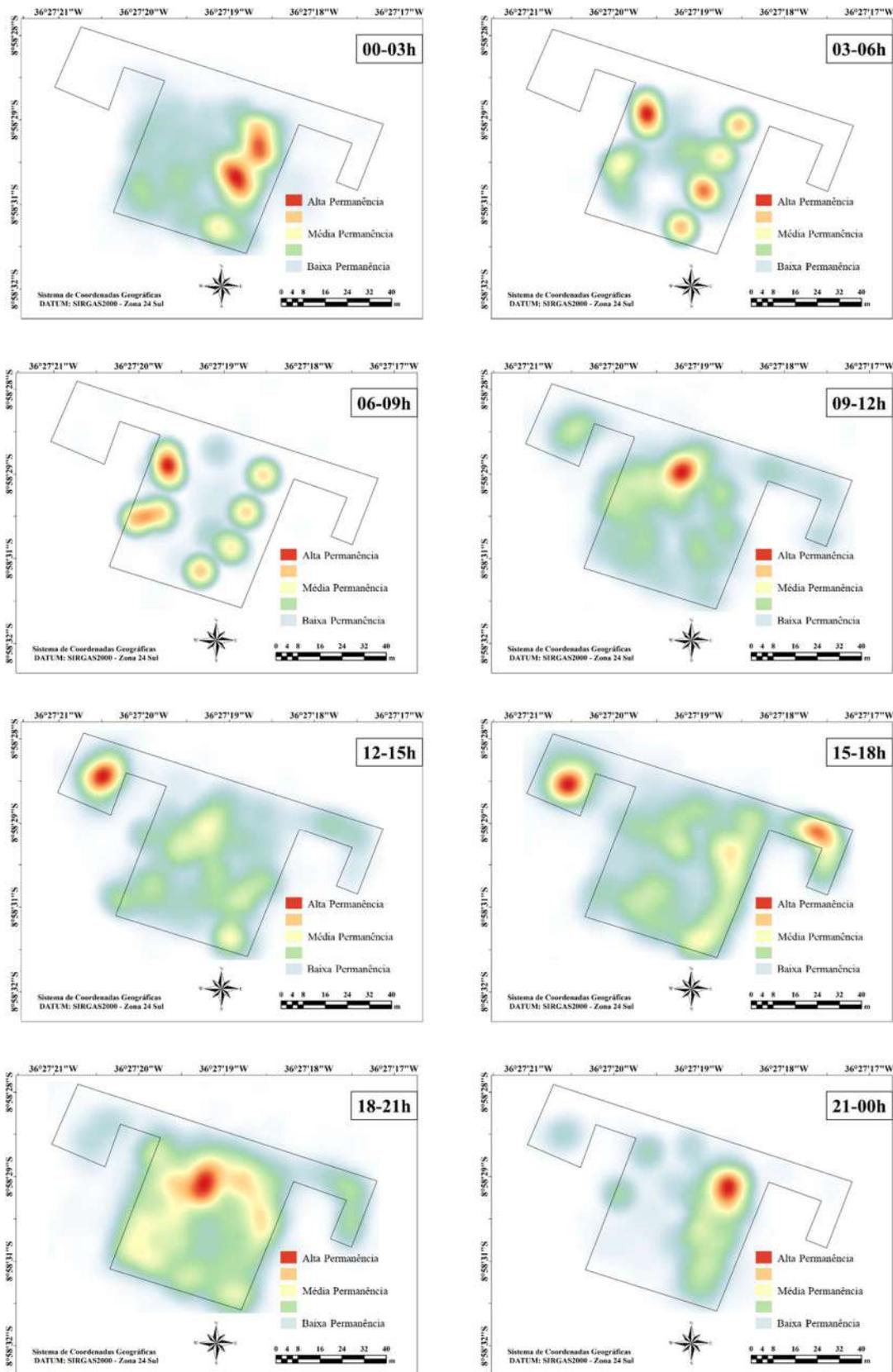


Figura 8. Espacialização da permanência dos animais na área de pastejo, dividida em intervalos horários de 3 horas.

As correlações das respostas comportamentais, variáveis meteorológicas (Tbs e UR), ITU e entalpia são demonstradas pela combinação linear da análise multivariada canônica (Figura 9), que explicou 100% do total de informações em dois conjuntos de variáveis, Canônica 1 (Can1) e Canônica 2 (Can2).

O gráfico de dispersão Can1 e Can2 (Figura 9) exibiu que Can1 foi responsável por 78% da variabilidade total, portanto, foi capaz de separar o comportamento ingestivo bebendo e comendo, a atividade andando, a postura em pé e a UR da atividade ruminando e ócio como também da Tbs, ITU e h. Essa diferença também é confirmada pelos resultados de qui-quadrado, quando comparados com os índices de conforto térmico. A segunda função canônica (Can2) explicou os 22% restantes da variância, separou o comportamento bebendo e comendo, a atividade ócio e a postura deitada das demais variáveis contidas no sistema.

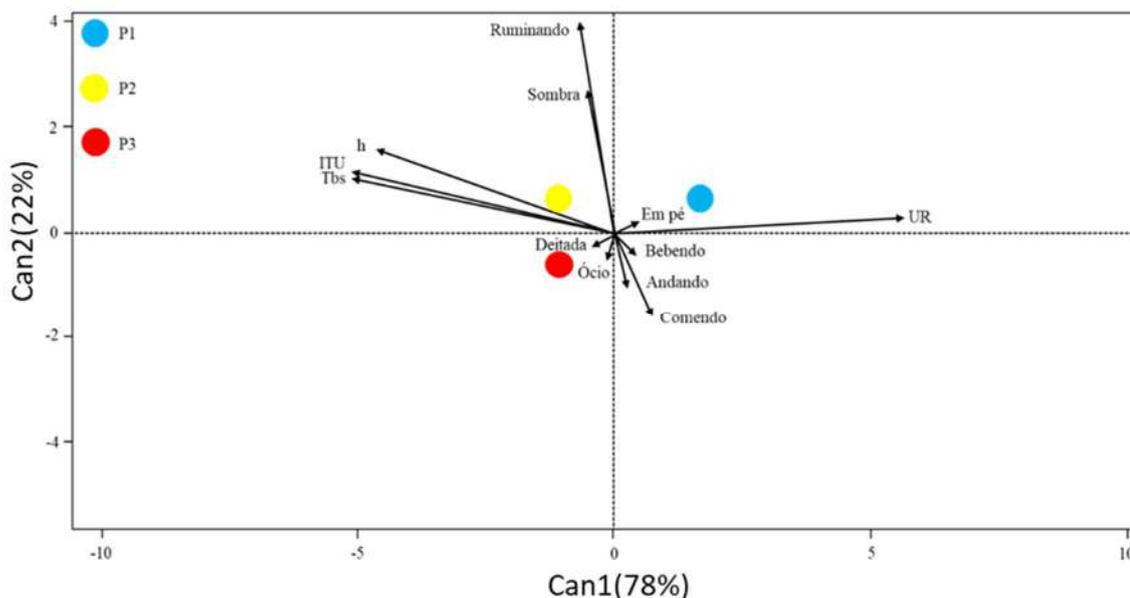


Figura 9. Correlação das duas primeiras variáveis canônicas (Can1 e Can2) para P1 (primeira passagem dos animais), P2 (segunda passagem dos animais) e P3 (terceira passagem dos animais). temperatura de bulbo seco (Tbs), umidade relativa do ar (UR), entalpia específica (h), índice de temperatura e umidade (ITU).

Os escores canônicos mostram que durante a primeira passagem pelo piquete (P1) os animais apresentaram mais o comportamento andando, bebendo, comendo e em pé; já na segunda passagem pelo piquete (P2) as ações preferenciais foram o ócio e deitada, no entanto, na terceira passagem pelo piquete (P3) os animais tiveram o hábito de ruminar na área de sombra (Figura 9), logo, P3 foi o período que Tbs, ITU e h apresentaram os maiores valores

(Figura 9). Assim, o sombreamento pode ter ajudado a reduzir o tempo de exposição dos animais a situações de estresse térmico ao longo do dia (Figura 8), reduzindo o aporte de energia exógena e possivelmente o gasto de energia em processos fisiológicos ativos envolvidos na termólise, como a perda de calor por evaporação, durante a respiração ofegante (Giro et al., 2019).

Esses achados corroboram Vasconcelos et al. (2020), que ao utilizarem a análise multivariada canônica para avaliar o perfil adaptativo de vacas girolandas em região tropical, Can1 e Can2 explicaram 100% do sistema, os autores ainda concluíram que as vacas Girolandas ativaram os mecanismos latentes de termorregulação, principalmente a evaporação respiratória, para auxiliar na dissipação do calor.

CONCLUSÕES

As condições ambientais durante o segundo e o terceiro ciclo de pastejo proporcionam maior desconforto aos animais, resultando em maior exigência de termorregulação desses animais.

As respostas fisiológicas dos animais indicaram que em ambos os ciclos de pastejo a frequência respiratória, a temperatura retal e a temperatura de pelame apresentaram-se dentro das condições consideradas normais, indicando que as vacas apresentaram adaptação ao sistema de pastejo, mesmo em condições meteorológicas adversas.

A análise multivariada canônica permitiu observar a conjuntura dos padrões comportamentais dos animais com as variáveis meteorológicas e verificar as preferências dos bovinos dentro de cada ciclo de pastejo.

REFERÊNCIAS

Almeida, G. L.; Pandorfi, H.; Barbosa, S. B.; Pereira, D. F.; Guiselini, C.; De Almeida, G. A. Comportamento, produção e qualidade do leite de vacas Holandês-Gir com climatização no curral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 892-899, 2013.

Almeida, G. L.; Pandorfi, H.; Guiselini, C.; Henrique, H. M.; Almeida, G. A. Uso do sistema de resfriamento adiabático evaporativo no conforto térmico de vacas da raça girolando. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.754-760, 2011.

Altmann, J. Observational study of behavior sampling methods. **Behaviour**, v.49, p.227-267, 1974.

Armstrong, D.V. Heat stress interaction with shade and cooling. **Journal of Dairy Science**, v.77, p.2044-2050, 1994.

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.

Baêta, F. C.; & Souza, C. F. *Ambiência em edificações rurais: conforto animal*. 2.ed. Viçosa: UFV, 2010. 269p.

Barnabé, J.M.C.; Pandorfi, H.; Almeida, G.L.P; Guiselini, C.; Jacob, A.L. Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19, p.481-488, 2015.

Batista, P. H. D.; de Almeida, G. L. P.; Pandorfi, H.; de Melo, A. A.; Moraes, A. S.; Guiselini, C. Multivariate analysis of the behavior and physiology of Girolando heifers in pasture. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 303-308, 2019.

Córdova, H. A.; Cardozo, L. L.; Alessio, D. R. M.; Neto, A. T. Behaviour of Holstein cows in robotic milking. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, p. 263-272, 2020.

Cruz, P. F. F.; Monteiro, C. P.; Guimarães, E. C.; Antunes, R. C.; Mattos Nascimento, M. R. B. Physiological parameters, hair coat morphological characteristics And temperature gradients In Holstein-Gyr crossbred cows. **Bioscience Journal**, v.32, p.471-477, 2016.

Deniz, M.; Schmitt Filho, A. L.; Farley, J.; Quadros, S. F.; Hötzel, M. J. High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. **International journal of biometeorology**, v.63, p.83-92, 2019.

Domiciano, L.F.; Mombach, M.A.; Carvalho, P.; Silva, N.M.F.; Pereira, D.H.; Cabral, L.S.; Lopes, L.B.; Pedreira, B.C. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Animal Production Science**, v. 58, p. 920-929, 2018.

Ferrazza, R.A.; Garcia, H.D.M.; Aristizábal, V.H.V.; de Souza Nogueira, C.; Veríssimo, C. J.; Sartori, J. R.; Sartori, J.; Ferreira, J. C. P. Thermoregulatory responses of Holstein cows exposed to experimentally induced heat stress. **Journal of thermal biology**, v. 66, p. 68-80, 2017.

Hahn, G. L.; Parkhurst, A. M.; Gaughan, J. B. Cattle respiration rate as a function of ambient temperature. **Transactions of American Society of Agricultural Engineering**, v.40, p.97-121, 1997.

Hilario, M. C.; Wrage-Mönnig, N.; Isselstein, J. Behavioral patterns of (co-) grazing cattle and sheep on swards differing in plant diversity. **Applied Animal Behaviour Science**, v.191, p.17-23. 2017.

Jara, I. E.; Keim, J. P.; Arias, R. A. Behaviour, tympanic temperature and performance of dairy cows during summer season in southern Chile. **Archivos de Medicina Veterinaria**, v.48, p. 113-118, 2016.

Giro, A.; Pezzopane, J. R. M.; Junior, W. B.; de Faria Pedroso, A.; Lemes, A. P.; Botta, D.; Romanello, N.; Barreto, A. N.; Garcia, A. R. Behavior and body surface temperature of beef

cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. **Science of the Total Environment**, v. 684, p. 587-596, 2019.

Karvatte, N.; Klosowski, E. S.; de Almeida, R. G.; Mesquita, E. E.; de Oliveira, C. C.; Alves, F. V. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **International journal of biometeorology**, v.60, p. 1933-1941, 2016.

Liu, J.; Feng, C.; Wang, D.; Wang, L.; Wilsey, B. J.; Zhong, Z. Impacts of grazing by different large herbivores in grassland depend on plant species diversity. **Journal of Applied Ecology**, v.52, p.1053-1062, 2015.

Martello, L. S.; Silva, S. da L.; Gomes, R. da C.; Corte, R. R. P. da S.; Leme, P. R. Infrared thermography as a tool to evaluate body surface temperature and its relationship with feed efficiency in *Bos indicus* cattle in tropical conditions. **International journal of biometeorology**, v.60, p.173-181, 2016.

Montanholi, Y. R.; Swanson, K. C.; Schenkel, F. S.; McBride, B. W.; Caldwell, T. R.; Miller, S. P. On the determination of residual feed intake and associations of infrared thermography with efficiency and ultrasound traits in beef bulls. **Livestock Science**, v. 125, n. 1, p. 22-30, 2009.

Molnár, Z.; Kelemen, A.; Kun, R.; Máté, J.; Sáfián, L.; Provenza, F.; Díaz, S.; Barani, H.; Biró, M.; Máté, A.; Vadász, C. Knowledge co-production with traditional herders on cattle grazing behaviour for better management of species-rich grasslands. **Journal of Applied Ecology**, v. 57, p. 1677-1687, 2020.

Peixoto, M. S. M.; Barbosa Filho, J. A. D.; Farias Machado, N. A.; Viana, V. D. S. S.; Costa, J. F. M. Thermoregulatory behavior of dairy cows submitted to bedding temperature variations in Compost barn systems. **Biological Rhythm Research**, p. 1-10, 2019.

Pereira, K. C. B.; Carvalho, C. D. C. S.; Ruas, J. R. M.; Menezes, G. C. D. C.; Castro, A. L. D. O.; Costa, M. D. D. Effect of the climatic environment on ingestive behavior of F1 Holstein x Zebu cows. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.19, p.207-215, 2018.

Pérez, J. M. L.; de la Varga, M. E. A.; García, J. J.; Lacasa, V. R. G. Monitoring lidia cattle with GPS-GPRS technology; a study on grazing behaviour and spatial distribution. **Veterinaria México OA**, v.4, p.1-17, 2017.

Polsky, L.; von Keyserlingk, M. A. Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. **Journal of dairy science**, v. 100, p. 8645-8657, 2017.

R CORE TEAM (2019). R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria.

Robertshaw, D. Regulação da temperatura e o ambiente térmico. In: Reece, W. O. Dukes: Fisiologia dos animais domésticos. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, Cap. 55, 2006. 898p.

Rodrigues, V. C.; Silva, I. J. O.; Vieira, F. C.; Nascimento, S. T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal of Biometeorology**, v.55, p.455-459, 2010.

Tofastrud, M.; Hegnes, H.; Devineau, O.; Zimmermann, B. Activity patterns of free-ranging beef cattle in Norway. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section A—Animal Science**, v. 68, p. 39-47, 2018.

Santos, L. V.; Carvalho, C. D. C. S.; Ruas, J. R. M.; Diniz, T. A.; Silva, E. A.; Moreira, S. D. J. M. Impacto do microclima sobre a fisiologia, pelame e produção de leite de vacas lactantes em diferentes estações do ano. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.17, p.368-376, 2018.

SAS Institute Inc. SAS[®] University edition: Installation guide for windows. Cary: **SAS Institute Inc.**, 2016. 24p.

Schoenbaum, I.; Kigel, J.; Ungar, E. D.; Dolev, A.; Henkin, Z. Spatial and temporal activity of cattle grazing in Mediterranean oak woodland. **Applied animal behaviour science**, v. 187, p. 45-53, 2017.

SILVERMAN, B. W. 3 The kernel method for univariate data. **Density estimation for statistics and data analysis**, p. 34-74, 1986.

Souza, E. C. D.; Salman, A. K. D.; Cruz, P. G. D.; Veit, H. M.; Carvalho, G. A. D.; Silva, F. R. F. D.; Schmitt, E. Thermal comfort and grazing behavior of Girolando heifers in integrated crop-livestock (ICL) and crop-livestock-forest (ICLF) systems. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 41, 2019.

Thom, E. C. The discomfort index. *Weatherwise*, v.12, p.57-59, 1959.

Vasconcelos, A.M.; Albuquerque, C.C.; Carvalho, J.F.; Façanha, D.A.E.; Lima, F.R.G.; Silveira, R.M.F.; Ferreira, J. Adaptive profile of dairy cows in a tropical region. **International journal of biometeorology**, v. 64, p. 105-113, 2020.

Monitoramento de bovinos em sistema de pastejo rotacionado e seu efeito na variabilidade da degradação do solo e da pastagem

RESUMO - Os dispositivos de sistema de posicionamento global (GPS) tratam-se de uma tecnologia fundamental para quantificar a distribuição e o movimento de bovinos a pasto, portanto, sua análise em conjunto com variáveis do solo e da pastagem podem revelar informações importantes quanto ao ambiente pastoril. Assim, objetivou-se avaliar a interação do posicionamento dos animais com a intensidade de pisoteio e seus efeitos na degradação do solo e da pastagem. A pesquisa foi conduzida na Fazenda Didática da Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada no município de Garanhuns, região Agreste do Estado de Pernambuco, Brasil. Na área demarcou-se um piquete de 50×50 m, ocupado por quatro bovinos mestiços (Holandês-Zebu) e taxa de lotação de $3,2 \text{ UA ha}^{-1}$, manejados em sistema de pastejo rotacionado, que compreendeu 7 dias de ocupação e 28 dias de descanso para recuperação da pastagem. Coletaram-se amostras indeformadas de solo, antes da primeira passagem dos animais no piquete e ao final de cada período de descanso da pastagem, ou seja, aos 0, 35, 70 e 105 dias de estudo, em malha de 6×14 m, que totalizou 32 pontos de amostragem. Em cada ponto determinou-se a densidade, porosidade total, matéria orgânica do solo e altura de dossel. Sensores de GPS foram fixados por colares no pescoço dos animais e programados para registrar a localização dos animais a cada minuto, durante os ciclos de pastejo. As variáveis do solo e da pastagem foram submetidas à análise de estatística descritiva e geoestatística. As coordenadas registradas pelos sensores GPS foram submetidas a análise de densidade de Kernel. Após o terceiro ciclo de pastejo a densidade do solo atingiu valores superiores a $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$ em 89,89% da área do piquete, o que pode ter restringido o desenvolvimento radicular. As variáveis em estudo sofreram alterações pela ação do pisoteio animal, principalmente nas áreas de maior permanência, com aumento da densidade do solo e da matéria orgânica e redução da porosidade total e altura de dossel.

Palavras-chave: espacialização de bovinos a pasto, densidade de kernel, geoestatística, krigagem ordinária.

Monitoring of cattle in a rotational grazing system and its effect on the variability of soil and pasture degradation

ABSTRACT - Global Positioning System (GPS) devices are a fundamental technology to quantify the distribution and movement of cattle on pasture, therefore, their analysis in conjunction with soil and pasture variables can reveal important information regarding the pastoral environment. Thus, the objective was to evaluate the interaction of animal positioning with the intensity of trampling and its effects on soil and pasture degradation. The research was conducted at the Didática Farm of the Federal Rural University of Pernambuco, located in the municipality of Garanhuns, in the Agreste region of the State of Pernambuco, Brazil. A 50 × 50 m paddock was demarcated in the area, occupied by four crossbred cattle (Holstein-Zebu) and a stocking rate of 3.2 AU ha⁻¹, managed in a rotational grazing system, which comprised 7 days of occupation and 28 days of rest for pasture recovery. Undisturbed soil samples were collected, before the first passage of the animals in the paddock and at the end of each rest period of the pasture, that is, at 0, 35, 70 and 105 days of study, in a 6 × 14 m mesh, which totaled 32 sampling points. Density, total porosity, soil organic matter and canopy height were determined at each point. GPS sensors were attached to collars on the animals' necks and programmed to record the location of the animals every minute during grazing cycles. The soil and pasture variables were submitted to descriptive and geostatistical analysis. The coordinates recorded by GPS sensors were submitted to Kernel density analysis. After the third grazing cycle, soil density reached values above 1.65 kg dm⁻³ in 89.89% of the paddock area, which may have restricted root development. The variables under study were altered by the action of animal trampling, especially in areas of greater permanence, with an increase in soil density and organic matter and a reduction in total porosity and canopy height.

Keywords: grazing cattle spatialization, kernel density, geostatistics, ordinary kriging.

INTRODUÇÃO

O Brasil detém o maior rebanho bovino do mundo, com um efetivo de 221,81 milhões de cabeças em 2018. O estado de Pernambuco ocupa a quarta colocação entre os estados com maior rebanho na região Nordeste, com destaque para a Mesorregião Agreste, que tem a pecuária de leite como atividade de maior importância do setor (ABIEC, 2018).

O pisoteio animal apresenta-se como um dos principais agentes causadores da compactação do solo e da degradação da pastagem (PULIDO et al., 2018; GABBI et al., 2017). Geralmente, a pressão exercida pelos cascos dos animais é de maior intensidade nas camadas superficiais do solo, contudo, a heterogeneidade de movimentação, ingestão de alimentos e disposição das excretas durante o processo de pastejo pode modificar as propriedades do solo e da pastagem.

A compactação do solo pode ser verificada pelo aumento da densidade e pela redução do espaço poroso e assim, dificultar ou restringir o desenvolvimento radicular (NEGRÓN et al., 2019), principalmente quando o solo se encontra descoberto, ou em condição de superpastejo (SHI et al., 2019). Portanto, a compactação ocasionada pelo pisoteio animal, além de promover o aumento da densidade do solo e a redução da porosidade e condutividade hidráulica do solo, e de restringir o desenvolvimento radicular das culturas, também causa impactos econômicos aos produtores, relacionados a perda de produção e com recuperação de áreas degradadas (VANDERBURG et al., 2020).

Contudo, as decisões relacionadas ao manejo, tais como taxa de lotação, tempo de ocupação do piquete, período de descanso e revitalização do pasto, podem ter consequências sobre a pressão de pastejo. Outro aspecto importante é a seletividade dos animais, ou seja, o pastejo não ocorre de forma homogênea, contudo, esse hábito pode resultar na compactação do solo e na degradação da pastagem (SALES BAPTISTA et al., 2016).

O uso de receptores de sistema de posicionamento global (GPS) embarcados para estudar a posição de animais a pasto é uma técnica que vem se tornando cada vez mais comum e vários estudos (BARBARI et al., 2006; MOTTE et al., 2019) como ferramenta para determinação das melhores práticas de gestão relacionadas ao pastejo de bovinos. As tecnologias GPS fornecem melhor posicionamento de resolução, tempo e dados de localização e estão se tornando mais leves, mais eficientes, mais confiáveis e adaptáveis aos animais e seus habitats (KARL & SPRINKLE 2019).

Para melhor interpretar os dados de posicionamento, devem ser gerados a partir dos registros de localização, mapas temáticos para desenvolver estudos eficazes quanto a

especialização animal. O interpolador da densidade de Kernel pode ser usado para obter informações mais consistentes quanto a espacialização dos bovinos em áreas de pastagem e alcançar conclusões objetivas sobre questões territoriais e biológicas, a fim de resolver problemas de planejamento ambiental relacionados com a pecuária a pasto (RAIZMAN et al., 2013; PECH et al., 2019)

Portanto, no interesse de abordar agropecuária, zootecnia e pastoreio de precisão de forma mais ampla, o referido estudo busca analisar a interação ambiente pastoril × animal para identificar áreas super ou subpastejadas e alterações nos atributos físicos do solo, além de possíveis áreas degradadas pela ação do pastoreio. Assim, objetivou-se avaliar a interação do posicionamento dos animais com a intensidade de pisoteio e seus efeitos na degradação do solo e da pastagem.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida na Fazenda Didática da Universidade Federal Rural de Pernambuco, localizada no município de Garanhuns, Mesorregião Agreste do Estado de Pernambuco, Brasil (Figura 1). O local situa-se na latitude de 8° 58' S, longitude de 36° 27' W e altitude de 866 m. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como mesotérmico tropical de altitude (Cs'a). A temperatura média anual é de 20°C e a precipitação pluviométrica média anual de 908,6 mm (AZAMBUJA & CORRÊA, 2015).

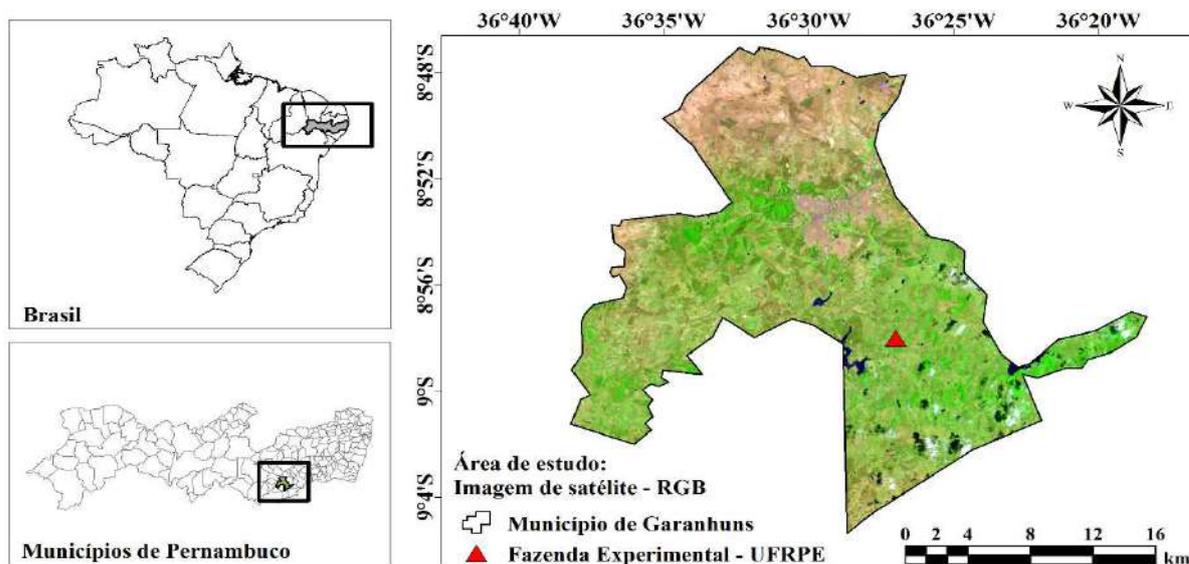


Figura 1. Mapa de localização da Fazenda Didática da UFRPE no município de Garanhuns, Pernambuco, Brasil.

O solo do local foi classificado como Argissolo Amarelo de acordo com Lima et al. (2016). A caracterização textural do solo foi realizada no Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos da UFRPE e de acordo com os métodos descritos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2011) o solo da área apresentou textura franco arenosa, com $652,50 \text{ g kg}^{-1}$ de areia, $178,70 \text{ g kg}^{-1}$ de silte, $168,80 \text{ g kg}^{-1}$ de argila e densidade de partículas de $2,55 \text{ kg dm}^{-3}$.

O estudo foi conduzido sob pastagem de *Brachiaria decumbens*, em um piquete de $50 \times 50 \text{ m}$, manejado em sistema de pastejo rotacionado, no qual, o período de ocupação e descanso do piquete constituiu de 7 e 28 dias, respectivamente. Portanto, em apenas um campo de pastejo os animais permaneceram 7 dias, sendo alocados em outro espaço da fazenda no decorrer do período de descanso (28 dias).

Utilizaram-se quatro bovinos mestiços, (Holandês-Zebu) e taxa de lotação de $3,2 \text{ UA ha}^{-1}$, que se deu início quando o pasto estava com altura média de $0,60 \text{ m}$ e foi encerrado quando o pasto não apresentava a capacidade de nutrir os animais, portanto, totalizou-se um ciclo de pastejo de 105 dias. Anexo ao piquete, disponibilizou-se área de sombra e bebedouro de livre acesso aos animais, interligadas por um corredor de 3 m de largura (Figura 2).

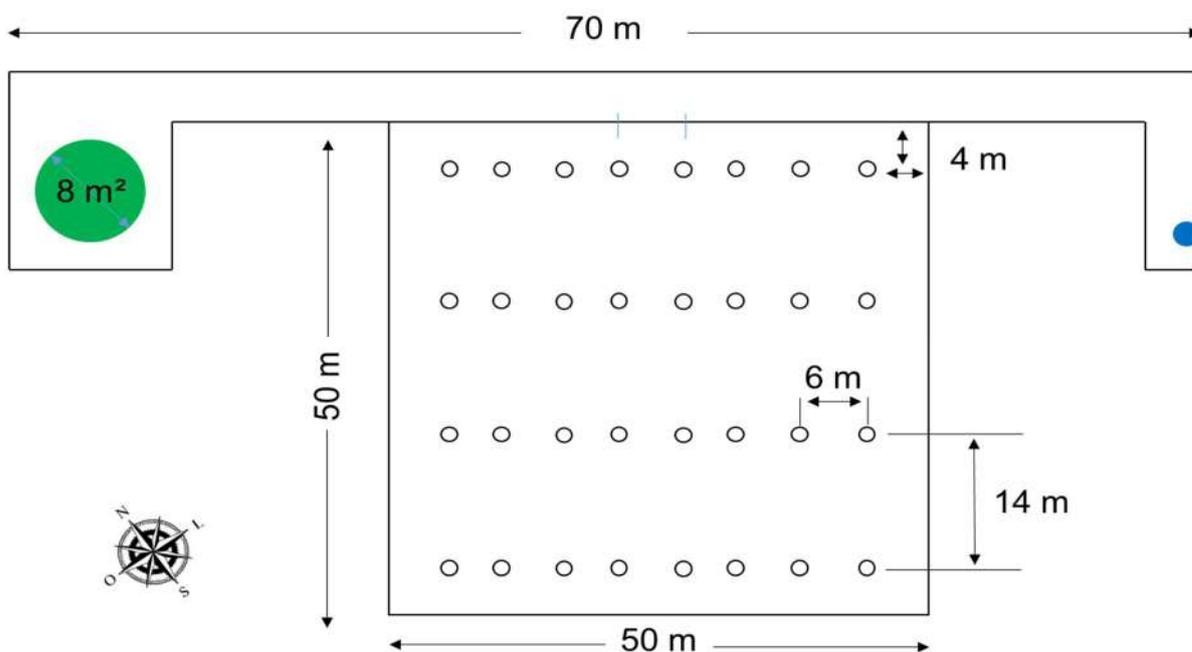


Figura 2. Croqui da área de pastagem. Pontos de amostragem (\circ), área de sombra para os animais (\bullet), bebedouro (\bullet), entrada para acesso dos bovinos as áreas contíguas (\parallel).

Na área de pastejo, determinou-se a densidade, porosidade total do solo na profundidade de 0,00-0,10 m, o teor de matéria orgânica do solo na camada superficial, e a altura de dossel da pastagem, para tal se admitiu malha de 6 × 14 m, totalizando 32 pontos de amostragem, com bordadura de 4,0 m. As amostras foram obtidas antes da primeira passagem do gado e ao final de cada período de descanso do pasto no piquete (Figura 3), ou seja, aos 0, 35, 70 e 105 dias de estudo. Portanto, antes do pastejo (P0), após a primeira passagem dos animais – 1º ciclo de pastejo (P1), após a segunda passagem dos animais – 2º ciclo de pastejo (P2), após a terceira passagem dos animais – 3º ciclo de pastejo (P3).

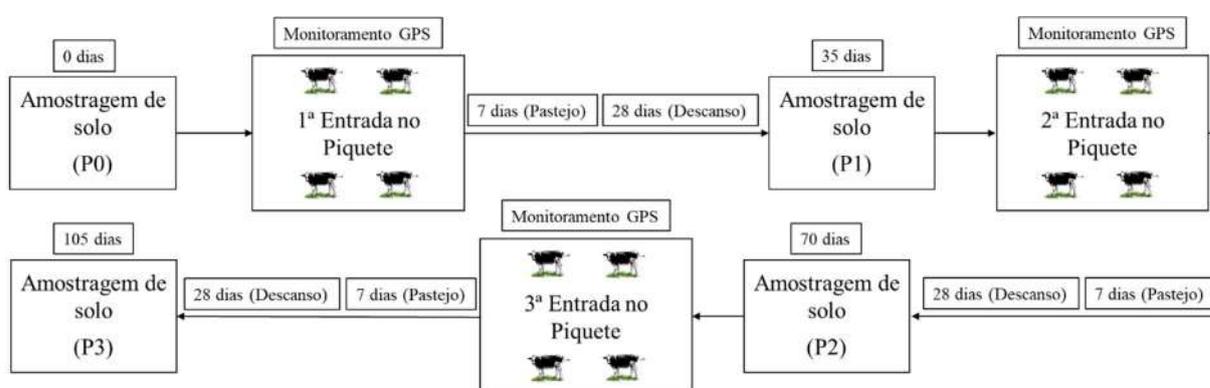


Figura 3. Esquema dos ciclos de pastejo e períodos amostrais do solo.

Para coleta indeformada de solo, foi utilizado amostrador do tipo Uhland, essas amostras foram pesadas para determinação da massa úmida do solo e, após secas em estufa a 105 °C durante 24 h, foi obtida a massa seca do solo. Mensurou-se a densidade do solo (D_s , Kg dm^{-3}) a partir do peso do solo seco em estufa e do volume total da amostra de solo. Determinou-se a densidade de partículas (D_p , Kg dm^{-3}) pelo método do balão volumétrico. A porosidade total (PT, %) foi quantificada por meio da razão da D_s/D_p . As frações de areia, silte e argila foram determinadas pelo método do densímetro. Também, foram coletadas amostras deformadas na camada de 0,0 a 0,05 m do solo para determinação da matéria orgânica (MO), em que o carbono orgânico foi determinado pelo método da titulação e a matéria orgânica calculada multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724. Todos os procedimentos foram realizados de acordo com metodologia estabelecida pela EMBRAPA (2011). Já a altura do dossel forrageiro foi determinada com auxílio de um trena graduada, em cada local de amostragem foram tomadas as medidas de altura do ponto central de referência do pasto.

O monitoramento dos animais foi realizado, durante os 3 ciclos de pastejo (Figura 3), por meio de um sistema embarcado desenvolvido por pesquisadores do Departamento de

Engenharia Agrícola (DEAGRI) e do Departamento de Estatística e Informática (DEINFO) da Universidade Federal Rural de Pernambuco. O dispositivo é baseado na plataforma TTGO T-BEAM que consiste em um microcontrolador ESP32 conectado a um módulo GPS u-blox NEO-6M e a um módulo de comunicação LoRa SX1276. A placa apresenta as dimensões de $100 \times 39 \times 19$ mm. O equipamento foi alimentado por uma bateria de íon-lítio padrão 18650, com capacidade de fornecer 3800 mAh. Todo o conjunto foi integrado e embarcado em um colar que foi fixado ao pescoço do animal.

As informações de posicionamento global do animal foram gravadas em um arquivo no formato CSV no cartão SD de 16Gb. A programação do sistema foi realizada em linguagem C/C++, utilizando o *software* Arduino IDE e configurada para registrar a posição dos animais no intervalo de 1 (um) minuto durante o período de pastejo.

O GPS ficou protegido por uma caixa de acrílico para evitar danos causados pelos animais ou chuva e acomodados em coleiras de couro que foram fixadas no pescoço dos animais. Logo, a posição utilizada buscou garantir que o equipamento ficasse na parte inferior, desse modo, o próprio pescoço do animal serviu de proteção para o equipamento. As trocas de baterias foram realizadas a cada 24 horas, e esse procedimento durava aproximadamente 20 segundos por animal.

Os dados das propriedades do solo (densidade, porosidade total, matéria orgânica do solo e altura de dossel) foram submetidos à estatística descritiva, em que, se calculou a média, mediana, o coeficiente de variação, o coeficiente de assimetria e o coeficiente de curtose. Foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov para responder a hipótese de normalidade intrínseca.

Para verificar a variabilidade espacial das variáveis (densidade do solo, porosidade do solo, matéria orgânica do solo e altura de dossel) ao longo do tempo, os resultados foram analisados por meio de métodos geoestatísticos de análise de semivariogramas (VIEIRA et al., 2014). A autocorrelação espacial entre locais vizinhos foi calculada por meio da semivariância $\gamma(h)$, estimada pela Eq. 3 (MATHERON, 1963):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (3)$$

Em que: $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$, separados por um vetor h . O gráfico de $\gamma(h)$ em função dos valores correspondentes de h , chamado semivariograma, é função apenas do vetor h .

Os modelos de semivariogramas foram ajustados por meio do programa GS+ 7.0 (GAMMA DESIGN SOFTWARE, 2012). A escolha do melhor modelo ajustado aos semivariogramas baseou-se no coeficiente de determinação (R^2), conforme Gülser et al. (2016) e Chen et al. (2020). Utilizou-se o programa Surfer 9 (GOLDEN SOFTWARE, 2010) para manipulação e visualização da distribuição espacial, por meio da construção de mapas de isolinhas das variáveis, krigagem ordinária.

Para analisar o grau da dependência espacial (GDE) dos atributos em estudo, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que foram considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que apresentaram efeito pepita $<25\%$ do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca, $>75\%$.

O grau de variabilidade dos parâmetros do solo foi analisado a partir do coeficiente de variação, com base na classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), que sugere os limites $CV < 12\%$, $12 \leq CV < 60\%$, e $CV \geq 60\%$ para atributos de baixa, média e alta variabilidade, respectivamente.

O conjunto de dados relativos ao posicionamento dos animais coletados por meio dos sensores presentes no colar, foram analisados a partir da obtenção dos focos de calor e estimadas as suas densidades dentro da área de estudo, aplicando o estimador de densidade kernel no *software* QGIS 3.1. O estimador de densidade Kernel desenha uma vizinhança circular ao redor de cada ponto da amostra, correspondendo ao raio de influência e, então é aplicada uma função matemática de 1, na posição do ponto, a 0, na fronteira da vizinhança. O valor para a célula é a soma dos valores Kernel sobrepostos e divididos pela área de cada raio de pesquisa (SILVERMAN,1986).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise descritiva (Tabela 1) da densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), matéria orgânica (MO) e altura de dossel (AD), o teste de Kolmogorov-Smirnov confirmou a distribuição normal para todas as variáveis avaliadas, resultados semelhantes foram observados por Batista et al. (2019) e Kunrath et al. (2019). Do mesmo modo, a assimetria e a curtose estão relacionadas à distribuição dos dados, sendo considerados simétricos, por se encontrarem próximos ou iguais à zero (GOMES et al., 2017).

O coeficiente de variação (Tabela 1) para a densidade do solo, em todos os períodos de pastejo, para a porosidade total, no período de antes do pastejo e após a terceira passagem dos animais e, para matéria orgânica, amostrada antes do pastejo, apresentaram baixa variabilidade

(CV<12%), todas as demais variáveis em seus respectivos períodos de pastejo apresentaram CV>12%, ou seja, classificadas como de média variabilidade (WARRICK & NIELSEN, 1980).

Tabela 1. Parâmetros estatísticos descritivos, relativos aos atributos físicos do solo na camada 0,0 - 0,1 m durante o período de estudo.

VARIÁVEIS	¹ MÍN	² MÁX	MÉDIA	MEDIANA	³ DP	⁴ CV	⁵ A	⁶ C	⁷ D
ANTES DO PASTEJO									
0,00 – 0,10 (m)									
Ds (kg dm ⁻³)	1,43	1,7	1,54	1,55	0,07	4,00	0,32	-0,16	0,13*
PT (%)	27,63	41,76	33,14	33,14	3,45	10,00	0,75	0,51	0,16*
MO (%)	26,24	36,90	31,55	31,79	2,54	8,00	-0,04	-0,36	0,18*
AD (cm)	34,00	60,00	43,72	42,00	6,53	15,00	0,76	-0,01	0,12*
APÓS A PRIMEIRA PASSAGEM DOS ANIMAIS									
0,00 – 0,10 (m)									
Ds (kg dm ⁻³)	1,39	1,72	1,56	1,56	0,08	5,00	-0,01	-0,4	0,13*
PT (%)	23,06	37,90	29,74	30,02	3,96	13,00	0,52	0,02	0,13*
MO (%)	24,09	41,16	34,18	32,99	4,13	12,00	0,01	-0,05	0,18*
AD (cm)	17,00	36,00	26,21	26,00	4,56	17,00	0,06	0,05	0,12*
APÓS A SEGUNDA PASSAGEM DOS ANIMAIS									
0,00 – 0,10 (m)									
Ds (kg dm ⁻³)	1,46	1,81	1,67	1,67	0,09	5,00	-0,75	0,51	0,15*
PT (%)	23,06	37,88	29,61	30,02	3,78	13,00	0,48	0,25	0,14*
MO (%)	30,32	48,99	38,26	37,34	5,02	13,00	0,64	-0,24	0,18*
AD (cm)	11,00	27,00	19,35	19,00	3,99	21,00	0,15	-0,52	0,10*
APÓS A TERCEIRA PASSAGEM DOS ANIMAIS									
0,00 – 0,10 (m)									
Ds (kg dm ⁻³)	1,54	1,92	1,76	1,76	0,10	6,00	-0,61	0,03	0,17*
PT (%)	22,29	32,45	28,18	28,33	2,79	10,00	-0,30	-0,62	0,11*
MO (%)	35,66	58,16	43,73	42,37	6,15	14,00	0,69	-0,21	0,17*
AD (cm)	7,00	20,00	13,87	14,00	3,17	23,00	-0,10	-0,39	0,13*

Ds: Densidade do Solo; PT: Porosidade total; MO: Matéria orgânica do solo; AD: Altura de dossel. ¹MÍN: Mínimo; ²MÁX: Máximo; ³DP: Desvio Padrão; ⁴CV: Coeficiente de Variação (%); ⁵A: Assimetria; ⁶C: Curtose; ⁷D: Normalidade por K-S *Significativo a 5%.

De acordo com os valores médios das variáveis em estudo (Tabela 1) observa-se que a força exercida pelos cascos dos animais pela ação do pisoteio, proveu alterações na estrutura física do solo, com o aumento da densidade do solo (Ds), que superou o limite para desenvolvimento radicular de 1,65 kg dm⁻³ (Reinert et al., 2008) apenas na segunda e na terceira passagem dos animais pelo piquete, na qual, chegou a atingir na última coleta valores máximos de 1,92 kg dm⁻³. Inversamente a Ds a porosidade total (PT) reduziu consideravelmente durante o pastejo, ao considerar os valores médios, essa redução após a finalização do estudo atingiu 15%, com valor mínimo de PT de 22,29% (Tabela 1).

Esses achados corroboram Koppe et al. (2021), que ao avaliarem a recuperação natural dos atributos físicos do solo de um Latossolo Vermelho distrófico típico, manejado sob diferentes intensidades de pastejo de gado leiteiro, relataram que o pastejo afetou negativamente

a qualidade física do solo com redução da porosidade total, bem como aumento da densidade do solo.

No entanto, de acordo com os valores médios (Tabela 1) a porcentagem de matéria orgânica (MO) do solo aumentou 38% na área de pastejo, esse incremento pode ser resultado da deposição de dejetos dos animais. Resultados semelhantes foram observados por Lai & Kumar (2020), em estudo dos impactos ocasionados por meio do pisoteio bovino sobre os atributos físico-químicos do solo e observaram que na profundidade de 0,00-0,10 m, com intensidade de pastejo leve, a matéria orgânica do solo aumentou 10,80%.

A altura de dossel (AD) da forragem reduziu 215% após o período de estudo, Almeida et al. (2020) consideram que a redução admissível seja de 40 a 50% da altura inicial do pasto, considerado como faixa ótima para minimizar perdas no consumo de pasto devido à maior proporção de hastes no estrato inferior.

O pastoreio de bovinos está frequentemente associado à degradação estrutural geral do solo e da pastagem, pois, reduz a cobertura do solo por desfolha e causa compactação (Amorim et al., 2020). Esses achados reforçam Hao & He (2018) que em estudo sobre os efeitos do pastejo na biomassa da pastagem e nos atributos do solo, ressaltaram que o pastejo diminuiu significativamente a biomassa total e que o aumento da intensidade e duração do pastejo aumentou significativamente a densidade do solo.

Entretanto, Batista et al. (2019) ao utilizarem uma área de 40 x 40 m com 3 (três) animais da raça girolando 300kg no semiárido brasileiro, observaram que após 15 dias de pastejo contínuo a densidade do solo foi superior a $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$, a resistência do solo a penetração aumentou 79,40%, a porosidade total e a condutividade hidráulica do solo saturado reduziram respectivamente, 3% e 15%.

Os semivariogramas das variáveis do solo ajustaram-se ao modelo esférico (Tabela 2), baseado no melhor coeficiente de determinação (R^2). Os valores de R^2 foram superiores a 0,75, o que permitiu a construção de mapas de boa qualidade, para ilustrar a distribuição espacial das variáveis analisadas (TAVANTI et al., 2019).

Todos os semivariogramas das variáveis em estudo (Tabela 2) e nos diferentes ciclos de pastejo apresentaram variabilidade espacial forte GDE <25% (CAMBARDELLA et al., 1994). Geralmente, a forte dependência espacial das propriedades do solo está relacionada a fatores intrínsecos estruturais, como textura, material original e mineralogia e, dependência espacial fraca pode estar relacionada a fatores extrínsecos aleatórios, como aração, fertilização e outras práticas de manejo do solo (Awal et al., 2019).

Resultados semelhantes foram encontrados por Batista et al. (2019) em estudo sobre a variabilidade espacial de atributos físico-hídricos do solo sob pisoteio bovino e obtiveram forte GDE para densidade do solo e porosidade total. Assim como, Da Silva et al. (2020) relataram que o forte GDE, relacionada a matéria orgânica, está associada a dispersão das excretas, devido ao comportamento natural dos herbívoros para evitar a contaminação de alimentos, o que mostra que a deposição de esterco pelo gado é distribuída em áreas específicas, consideradas áreas de banheiro. Do mesmo modo, Bloor et al. (2020) ao avaliar a estrutura espacial da vegetação de pastagens obtiveram forte GDE para altura de dossel.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos de semivariograma e grau de dependência espacial (GDE), durante ciclo de pastejo.

ATRIBUTOS	MODELO	C ₀	C ₀ +C	A	GDE %	R ²
ANTES DO PASTEJO						
0,00 – 0,10 (m)						
Ds (kg dm ⁻³)	Esférico	0,00047	0,00803	12,610	5,85	0,954
PT (%)	Esférico	0,480	8,990	10,960	5,34	0,928
MO(%)	Esférico	0,270	5,317	10,180	5,07	0,906
AD (cm)	Esférico	1,700	38,150	10,030	4,45	0,860
APÓS A PRIMEIRA PASSAGEM DOS ANIMAIS						
0,00 – 0,10 (m)						
Ds (kg dm ⁻³)	Esférico	0,00025	0,00874	8,460	2,86	0,953
PT (%)	Esférico	0,310	12,990	8,250	2,39	0,905
MO(%)	Esférico	0,010	12,440	13,250	0,80	0,901
AD (cm)	Esférico	0,100	32,560	18,37	0,30	0,972
APÓS A SEGUNDA PASSAGEM DOS ANIMAIS						
0,00 – 0,10 (m)						
Ds (kg dm ⁻³)	Esférico	0,00006	0,00565	9,770	1,06	0,780
PT (%)	Esférico	0,100	12,830	8,570	0,78	0,865
MO(%)	Esférico	1,040	8,500	12,250	12,23	0,978
AD (cm)	Esférico	0,080	13,250	9,130	0,60	0,914
APÓS A TERCEIRA PASSAGEM DOS ANIMAIS						
0,00 – 0,10 (m)						
Ds (kg dm ⁻³)	Esférico	0,00018	0,00536	8,790	3,36	0,946
PT (%)	Esférico	0,140	12,440	8,820	1,13	0,862
MO(%)	Esférico	0,570	14,900	9,330	3,82	0,803
AD (cm)	Esférico	0,050	6,760	8,440	0,73	0,991

Ds: Densidade do Solo; PT: Porosidade total; MO: Matéria orgânica do solo; AD: Altura de dossel; C₀: Efeito Pepita; C₀+C: Patamar; A: Alcance; GDE: Grau de Dependência Espacial (%); R²: Ajuste do semivariograma.

O efeito pepita para maioria das variáveis estudadas apresentou-se inferior ao valor de 1,0 (um), o que sugere poucos erros de medição e adequada malha amostral (CAMBARDELLA et al., 1994).

Os alcances (A) variaram entre 8,25 e 13,25 m, com o menor valor para porosidade total e maior valor para matéria orgânica do solo, ambos registrados após a primeira passagem dos

animais pelo piquete (Tabela 2). Esses resultados também indicam que o espaçamento foi adequado para caracterizar a variabilidade espacial das características do solo neste local (ROSEMARY et al., 2017).

Os mapas de krigagem permitiram verificar a distribuição espacial das variáveis analisadas (Figura 4), observa-se aumento da densidade do solo (Ds) na camada 0,00 - 0,10 m durante período de estudo, principalmente, após a segunda passagem dos animais pelo piquete quando atingiu, em 57,53% da área do piquete, valores iguais ou superiores a $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$, sobretudo, na região Leste do piquete, ressalta-se que antes do pastejo em apenas 1,72% da área total do piquete apresentava Ds maior que $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$ (Figura 4A).

Assim, a pressão exercida pelos cascos dos animais durante os ciclos de pastejo, reduziu a porosidade total do solo (PT) com decréscimo considerável após a primeira passagem dos animais pela área de pastejo (Figura 4B), principalmente nos locais de alta Ds (Figura 4A). Antes da primeira passagem dos animais 63,98% da área total do piquete encontrava-se com PT entre 32 e 37%, após o primeiro ciclo de pastejo apenas 20,15% do piquete apresentava PT correspondente de 32 a 37%. Logo, na terceira passagem dos animais, verificou-se que 74,83% da área do piquete apresentou PT entre 27 e 32% (Figura 4B).

Portanto, as mudanças temporais na estrutura do solo, promoveram o aumento da densidade e a redução da porosidade total, o que afetou sua estabilidade mecânica e por consequência dificultou o crescimento e desenvolvimento do pasto, com provável prejuízo na movimentação do ar e da água no solo (NEGRÓN et al., 2020). Batista et al. (2019) relataram que após 21 dias de pastejo contínuo, grande parte de um piquete de $40 \times 40 \text{ m}$, apresentou Ds superior a $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$, com redução da porosidade total, os autores relataram que após o pastejo os valores máximos de PT reduziram de 42 para 39%.

A matéria orgânica (MO) do solo aumentou durante o período de pastejo, antes do pastejo em 84,35% da área do piquete a MO apresentava valores entre 30 a 35%, logo, após a terceira passagem dos animais, 70,29% da área do piquete correspondia a MO de 40 a 45% (Figura 4C). Esse incremento da MO ocorreu principalmente na região norte (N) do piquete, provavelmente essa área foi escolhida para dispersão das excretas e de descanso pelos animais.

Resultados semelhantes foram observados por Carpinelli et al. (2020) em estudo da distribuição espacial e temporal de esterco bovino, observaram as maiores concentrações de esterco em locais próximos às áreas de descanso (para ruminção e ócio), portando, os autores relataram que o padrão no qual os nutrientes são devolvidos à pastagem, como o esterco, é

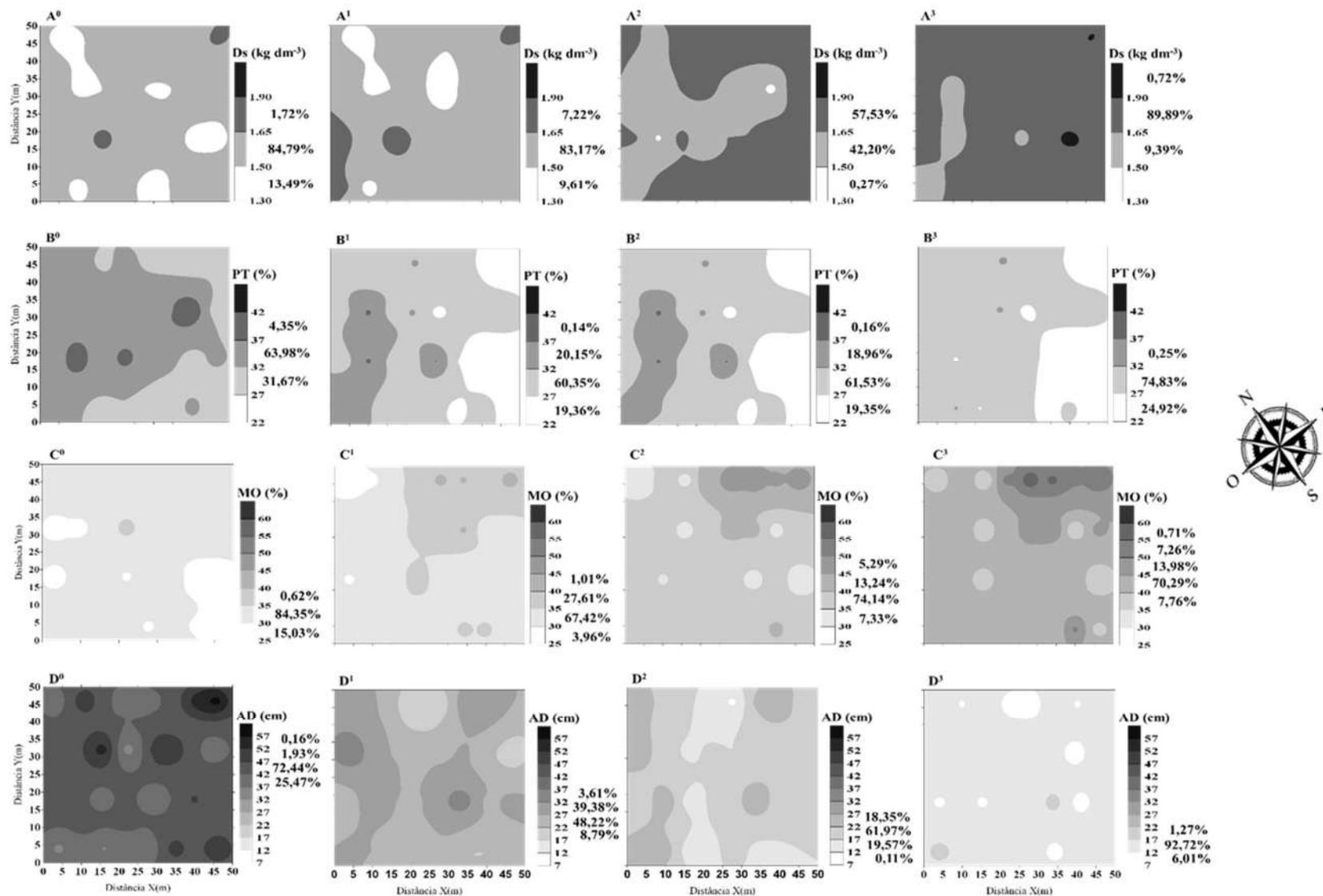


Figura 4. Mapas de krigagem das variáveis na camada de 0,00 – 0,10 m. A - Densidade (Ds); B - Porosidade Ttotal do solo (PT); C – Matéria orgânica (MO); D - Altura de dossel forrageiro (AD). ⁰antes do pastejo, ¹após a primeira passagem dos animais, ²após a segunda passagem dos animais, ³após a terceira passagem dos animais. As porcentagens ao lado de cada mapa representam as proporções da área total do piquete referente ao valor indicado na escala.

heterogêneo, pois a região coberta por fezes e urina representou apenas 0,7% da área total de 1,1 ha. Os autores, Carpinelli et al. (2020), também relataram que para minimizar essa heterogeneidade, uma opção poderia ser o aumento na frequência de mudanças nas posições do cocho, bebedouro e local de entrada no piquete.

Os mapas de krigagem referentes à altura de dossel (AD) mostram que antes do pastejo, 72,44% da área total do piquete apresentava AD entre 42 e 47 cm, após a primeira passagem dos animais prevaleceu na área do piquete AD de 22 a 32 cm, logo, após a terceira passagem dos animais em 92,72% da área do piquete foram mensuradas AD de 12 a 17 cm (Figura 4D).

Resultados semelhantes foram observados por Shi et al. (2019) que examinaram as mudanças na estrutura da pastagem e nas propriedades do solo em função do pastejo e observaram redução da biomassa e da altura de dossel, o que alterou a distribuição espacial da biomassa acima do solo. Os autores relataram que os bovinos preferiram locais de maior quantidade de forragem ao invés da qualidade.

Observa-se que a permanência dos animais no piquete durante os três ciclos de pastejo não ocorreram de maneira uniforme (Figura 5), logo, os bovinos criaram áreas de intensa utilização ao delimitar regiões preferidas tanto para pastejo como para descanso e banheiro.

Nota-se na primeira passagem dos animais pelo piquete, que, além de uma média permanência dos animais na área de sombra, os mesmos permaneceram por expressiva quantidade de tempo na faixa Noroeste, Norte e Nordeste do piquete (Figura 5A). Na segunda passagem dos animais, verifica-se maior distribuição espacial dos animais na área de pastejo, sendo a alta permanência registrada na região Leste e Sudeste do piquete (Figura 5B). Já na terceira passagem dos bovinos, nota-se alta permanência dos animais a Nordesde, Leste e Sudeste do piquete (Figura 5C). A visita ao bebedouro denotou baixa permanência durante ambos os ciclos de pastejo (Figura 5).

Na análise de ocupação espacial, observa-se que, em vez de permanecerem distribuídos aleatoriamente na área da pastagem, os animais mantiveram-se repetidamente juntos, e em locais preferenciais, isso pode ocorrer pelo fato dos bovinos apresentarem hábitos gregários. A alta permanência dos bovinos na posição Norte e Nordeste do piquete, pode indicar a área de descanso e banheiro dos animais (Figura 5), pois nessa zona, também foram encontrados os maiores valores de MO que podem ser ocasionados pelas excretas dos bovinos (Figura 4C).

Os animais evitam o pastejo em áreas de banheiro (DIRKSEN et al., 2020), portanto, nos locais de descanso e banheiro (Norte e Nordeste do piquete), não foram áreas preferenciais de pastejo pelos animais no presente estudo, conforme os mapas de AD (Figura 4D) e

permanência dos bovinos (Figura 5), a predileção de pastejo foram ao Noroeste, Sudoeste e Sudeste do piquete. O pastejo nessas áreas pode ter continuado devido a preferência dos animais por zonas recentemente pastadas e podem ser explicadas por sua prevalência de brotações na recuperação da pastagem, que são mais palatáveis que o material não pastado (PAULER et al., 2020).

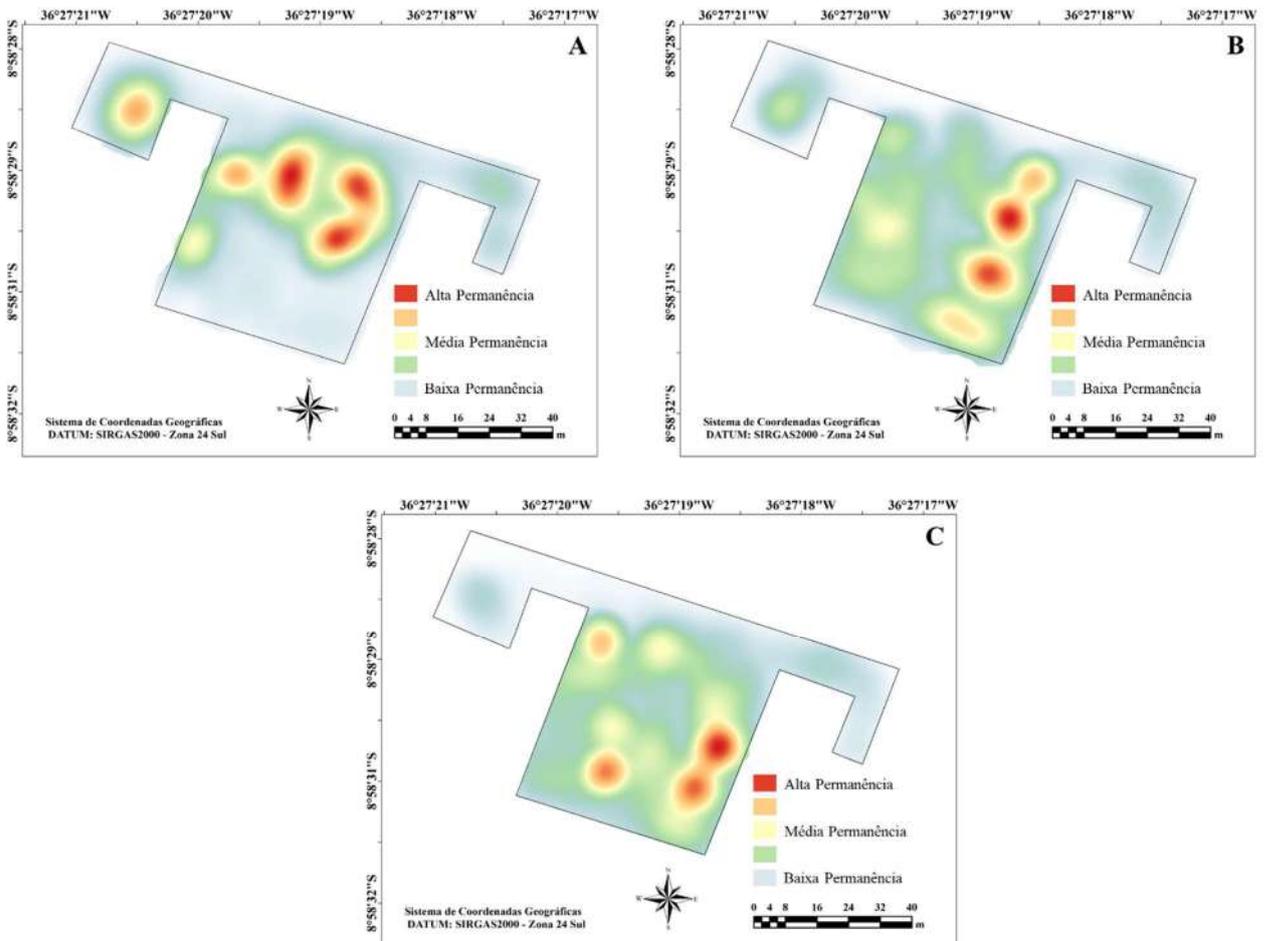


Figura 5. Mapas de espacialização da porcentagem de permanência dos animais na área destinada ao pastejo. Primeira passagem dos animais (A); Segunda passagem dos animais (B); Terceira passagem dos animais (C).

Esses achados também reforçam os resultados referentes as propriedades físicas do solo, em que a Ds aumentou sobretudo na região Leste (Figura 4A), após o pastejo os menores valores de PT foram observados a Nordesde, Leste e Sudoeste (Figura 4B). Portanto, regiões de alta permanência dos animais tiveram maior intensidade de pisoteio e conseqüentemente ação do casco na degradação do solo e da pastagem. Resultados semelhantes foram observados por Motte et al. (2019) que com auxílio de colar GPS estudaram o posicionamento de bovinos em

pastejo contínuo (2 UA ha⁻¹) e relataram que os animais se mantiveram por todo o pasto, com preferência de permanência na direção Sudoeste da área de pastagem, com tendência de se agruparem perto da água e em uma pastagem adjacente a quadrante noroeste.

Barbari et al. (2006) em estudo do uso de posicionamento global e sistemas de informação geográfica na gestão de pastejo extensivo, monitoraram 15 vacas, durante 21 dias por meio de colar GPS e a partir do interpolador da densidade de Kernel, relataram que da área total de 34.210 m² os animais tiveram permanência registrada em 24.240 m² correspondente a 70,84% de toda a área de pastagem.

As informações obtidas neste estudo podem ajudar no manejo das áreas de pastejo e podem ser um ponto de partida para estudos mais aprofundados sobre a temática na região de estudo e assim proporcionar informações mais precisas quanto a espacialização dos bovinos e o impacto ocasionado no solo e na pastagem. Em estudos futuros pode-se levar em consideração além das variáveis físicas do solo a inclusão de análises químicas do solo e uma pesquisa mais detalhada quanto a oferta e disponibilidade de forragem para os animais, assim como, acoplar aos dispositivos GPS novos sensores que possibilitem um melhor registro de dados.

CONCLUSÕES

A densidade, porosidade total, matéria orgânica do solo e a altura de dossel apresentaram forte dependência espacial para todos os períodos em estudo.

As variáveis em estudo sofreram alterações pela ação do pisoteio animal, principalmente nas áreas de maior permanência, com aumento da densidade do solo e da matéria orgânica e redução da porosidade total e altura de dossel.

A aplicação da tecnologia GPS forneceu dados úteis de monitoramento dos animais, e a junção dessas informações com os dados de solo e da pastagem foi possível estabelecer locais de preferência dos animais na área de pastejo.

REFERÊNCIAS

Almeida, J. G. R.; Dall Orsoletta, A. C.; Oziembowski, M. M.; Michelon, G. M.; Bayer, C.; Edouard, N.; Ribeiro Filho, H. M. N. Carbohydrate-rich supplements can improve nitrogen use efficiency and mitigate nitrogenous gas emissions from the excreta of dairy cows grazing temperate grass. **animal**, v. 14, p. 1184-1195, 2020.

Amorim, H. C.; Ashworth, A. J.; Moore Jr, P. A.; Wienhold, B. J.; Savin, M. C.; Owens, P. R.; Jagadamma, S.; Carvalhoc, T. S.; Xu, S. Soil quality indices following long-term conservation pasture management practices. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 301, p. 107060, 2020.

Awal, R.; Safeeq, M.; Abbas, F.; Fares, S.; Deb, S. K.; Ahmad, A.; Fares, A. Ripendra et al. Soil physical properties spatial variability under long-term no-tillage corn. **Agronomy**, v. 9, p. 750, 2019.

Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes. ABIEC. Perfil da pecuária no Brasil: Relatório anual 2018. Disponível em: <<http://abiec.siteoficial.ws/images/upload/sumario-pt-010217.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

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.

Barbari, M.; Conti, L.; Koostra, B. K.; Masi, G.; Guerri, F. S.; Workman, S. R. The use of global positioning and geographical information systems in the management of extensive cattle grazing. **Biosystems engineering**, v. 95, p. 271-280, 2006.

Batista, P. H. D.; Almeida, G. L. P. D.; Pandorfi, H.; Tavares, U. E.; Melo, A. A. S. D.; Guiselini, C. Spatial variability of soil physical-hydric attributes under bovine trampling in agreste of Pernambuco State, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 41, 2019.

Bloor, J. M.; Tardif, A.; Pottier, J. Julien. Spatial Heterogeneity of Vegetation Structure, Plant N Pools and Soil N Content in Relation to Grassland Management. **Agronomy**, v. 10, p. 716, 2020.

EMBRAPA. **Manual de métodos e análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2011, 230p.

Cambardella, C. A.; Moorman, T. B.; Novak, J. M.; Parkin, T. B.; Karlen, D. L.; Turco, R. F.; Konopka, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.1501-1511, 1994.

Carpinelli, S.; da Fonseca, A. F.; Weirich Neto, P. H.; Dias, S. H. B.; Pontes, L. D. S. Spatial and Temporal Distribution of Cattle Dung and Nutrient Cycling in Integrated Crop–Livestock Systems. **Agronomy**, v. 10, p. 672, 2020.

Da Silva, F.; de A Nunes, P. A.; Bredemeier, C.; Cadenazzi, M.; P Amaral, L.; M Pfeifer, F.; Ibanor, A.; Paulo, C.; Carvalho, P. C. D. F. Spatiotemporal Distribution of Cattle Dung Patches in a Subtropical Soybean-Beef System under Different Grazing Intensities in Winter. **Agronomy**, v. 10, p. 1423, 2020.

Dirksen, N.; Langbein, J.; Matthews, L.; Puppe, B.; Elliffe, D.; Schrader, L. Conditionability of 'Voluntary' and 'Reflexive-Like' Behaviors, With Special Reference to Elimination Behavior in Cattle. **Neuroscience and biobehavioral reviews**, v. 115, p. 5-12.

Chen, S.; Lin, B.; Li, Y.; Zhou, S. Spatial and temporal changes of soil properties and soil fertility evaluation in a large grain-production area of subtropical plain, China. **Geoderma**, v. 357, p. 113937, 2020.

- Gabbi, A. M.; Peripolli, V.; Cobuci, J. A.; Fischer, V.; Costa Jr, J. B. G.; McManus, C. Can meteorological variables affect milk production in different lactation orders of dairy cows in the Cfb climatic zone? A case study in Southern Brazil. **Archivos de zootecnia**, v.66, p.271-278, 2017.
- Gomes, R. P.; Campos, M. C. C.; Soares, M. D. R.; Silva, D. M. P.; Cunha, J. M.; Franciscon, U.; Silva, L. S.; Oliveira, I. A.; Brito, W. B. M. Spatial variability of aggregates and organic carbon under three different uses of indian black earth in southern Amazonas. **Bioscience Journal**, v. 33, n. 6, 2017.
- Gülser, C.; Ekberli, I.; Candemir, F. Spatial variability of soil physical properties in a cultivated field. **Eurasian Journal of Soil Science**, v. 5, p. 192-200, 2016.
- Hao, Y.; He, Z. Zhengwei. Effects of grazing patterns on grassland biomass and soil environments in China: A meta-analysis. **PloS one**, v. 14, p. e0215223, 2019.
- Karl, J. W.; Sprinkle, J. E. Low-Cost Livestock Global Positioning System Collar from Commercial Off-the-Shelf Parts. **Rangeland Ecology & Management**, v. 72, p. 954-958, 2019.
- Koppe, E.; Rupollo, C. Z.; de Queiroz, R.; Puschmann, D. U.; Peth, S.; Reinert, D. Physical recovery of an oxisol subjected to four intensities of dairy cattle grazing. **Soil and Tillage Research**, v. 206, p. 104813, 2021.
- Kunrath, T. R.; de Albuquerque Nunes, P. A.; de Souza Filho, W.; Cadenazzi, M.; Bremm, C.; Martins, A. P.; de Faccio Carvalho, P. C. Sward height determines pasture production and animal performance in a long-term soybean-beef cattle integrated system. **Agricultural Systems**, v. 177, p. 102716, 2020.
- Lai, L.; Kumar, S. A global meta-analysis of livestock grazing impacts on soil properties. **PloS one**, v. 15, p. e0236638, 2020.
- Lima, É. 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.
- Matheron, G. Principles of geostatistics. **Economic geology**, v. 58, p. 1246-1266, 1963.
- Motte, L. G.; Dumortier, P.; Beckers, Y.; Bodson, B.; Heinesch, B.; Aubinet, M. Louis Gourlez et al. Herd position habits can bias net CO₂ ecosystem exchange estimates in free range grazed pastures. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 268, p. 156-168, 2019.
- Negrón, M.; López, I.; Dörner, J. Consequences of intensive grazing by dairy cows of contrasting live weights on volcanic ash topsoil structure and pasture dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 189, p. 88-97, 2019.
- Pauler, C. M.; Isselstein, J.; Suter, M.; Berard, J.; Braunbeck, T.; Schneider, M. K. Choosy grazers: Influence of plant traits on forage selection by three cattle breeds. **Functional Ecology**, v. 34, p. 980-992, 2020.

Pech, R., Byrom, A.; Anderson, D.; Thomson, C.; Coleman, M. The effect of poisoned and notional vaccinated buffers on possum (*Trichosurus vulpecula*) movements: minimising the risk of bovine tuberculosis spread from forest to farmland. **Wildlife Research**, v. 37, p. 283-292, 2010.

Pulido, M.; Schnabel, S.; Lavado Contador, J. F.; Lozano-Parra, J.; González, F. The impact of heavy grazing on soil quality and pasture production in rangelands of SW Spain. **Land Degradation & Development**, v.29, p.219-230, 2018.

Raizman, E. A.; Rasmussen, H. B.; King, L. E.; Ihwagi, F. W.; Douglas, H. I. Feasibility study on the spatial and temporal movement of Samburu's cattle and wildlife in Kenya using GPS radio-tracking, remote sensing and GIS. **Preventive Veterinary Medicine**, v. 111, p. 76-80, 2013.

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.

Rosemary, F.; Indraratne, S. P.; Weerasooriya, R.; Mishra, U. Exploring the spatial variability of soil properties in an Alfisol soil catena. **Catena**, v. 150, p. 53-61, 2017.

Sales-Baptista, E.; D'Abreu, M. C.; Ferraz Oliveira, M. I. Overgrazing in the Montado? The need for monitoring grazing pressure at paddock scale. **Agroforestry systems**, v. 90, p. 57-68, 2016.

Silverman, B. W. 3 The kernel method for univariate data. **Density estimation for statistics and data analysis**, p. 34-74, 1986.

Shi, B.; Xu, W.; Zhu, Y.; Wang, C.; Loik, M. E.; Sun, W. Heterogeneity of grassland soil respiration: Antagonistic effects of grazing and nitrogen addition. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 268, p. 215-223, 2019.

Tavanti, R. F. R.; da Silva Freddi, O.; Marchioro, V.; Tavanti, T. R.; Galindo, F. S.; Wruck, F. J.; Hiratsuchi, L.; Breda, C. C. Least limiting water as a soil indicator in an integrated crop-livestock systems of the Cerrado, Brazil. **Geoderma regional**, v. 19, p. e00232, 2019.

Vanderburg, K. L.; Steffens, T. J.; Lust, D. G.; Rhoades, M. B.; Blaser, B. C.; Peters, K.; Ham, M. J. Trampling and Cover Effects on Soil Compaction and Seedling Establishment in Reseeded Pasturelands Over Time. **Rangeland Ecology & Management**, v. 73, p. 452-461, 2020.

Vieira, S. R.; Grego, C. R.; Topp, G. C.; Reynolds, W. D. Spatial relationships between soil water content and hydraulic conductivity in a highly structured clay soils. In: **Application of Soil Physics in Environmental Analyses**. Springer, Cham, 2014. p. 75-90.

Warrick, A.W.; Nielsen, D. R. (1980) Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. *Applications of soil physics* (p.319-344). New York, Academic.