

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

PEDRO HENRIQUE DIAS BATISTA

**Comportamento de bovinos de leite a pasto e variabilidade espacial de atributos físicos do solo em função da intensidade de pisoteio**

RECIFE-PE  
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

**Comportamento de bovinos de leite a pasto e variabilidade espacial de atributos físicos do solo em função da intensidade de pisoteio**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

**Orientador: Prof. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida e Heliton Pandorfi.**

RECIFE-PE

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

B333c Batista, Pedro Henrique Dias.

Comportamento de bovinos de leite a pasto e variabilidade espacial de atributos Físicos do solo em função da intensidade de pisoteio / Pedro Henrique Dias Batista . – 2017.

87 f.: il.

Orientador: Gledson Luiz Pontes de Almeida.

Coorientador: Heliton Pandorfi.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2017.

Inclui apêndice(s) e referências.

1. Compactação do solo 2. Fisiologia de bovinos 3. Geoestatística 4. Análise multivariada 5. Agricultura de precisão I. Almeida, Gledson Luiz Pontes de, orient. II. Pandorfi, Heliton, coorient. III. Título

CDD 631.4

**PEDRO HENRIQUE DIAS BATISTA**

**Comportamento de bovinos de leite a pasto e variabilidade espacial de atributos físicos do solo em função da intensidade de pisoteio**

Dissertação defendida a Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

**ORIENTADOR**

---

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

---

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Airon Aparecido Silva de Melo  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)  
Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG)

---

Dra Uilka Elisa Tavares  
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

**RECIFE-PE**

2017

*É um paradoxo a Terra se mover ao redor do Sol e a água ser constituída por dois gases altamente inflamáveis. A verdade científica é sempre um paradoxo, se julgada pela experiência cotidiana que se agarra à aparência efêmera das coisas.*

*Karl Marx*

## 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, João Victor e Maria Victória.

As minhas Avós Maria Ana Batista e Angelina Dias.

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

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 Mestrado.

Ao professor Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida, pela confiança, pela amizade sem igual e incentivo durante a orientação desse trabalho, no qual estendo esse agradecimento a toda sua família 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 dissertação.

Ao professor Dr. Airon Aparecido Silva de Melo, pelos valiosos conhecimentos para o enriquecimento da minha dissertação.

A Dra. Uilka Elisa Tavares, por toda atenção prestada nos momentos da elaboração da dissertação visando o enriquecimento científico da mesma.

Ao professor Ms. Roger Moura Sarmiento, pela colaboração e toda ajuda científica a mim prestada.

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

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 secretário, respectivamente Ênio Farias França e Silva, Mário Monteiro Rolin e Manuel Monteiro Cunegundes Capano .

A todos que fazem parte do Grupo de Pesquisa em Ambiente (GPESA) que de alguma forma participaram, tornaram-se grandes amigos, pelo convívio, trabalhos de campo e em laboratório. Pelos momentos de companheirismo, troca de experiências, estresse,

aprendizado e descontração: Luiz Almeida, Jairo Cordeiro, Nicolay Farias, Janice Barnabé, Adriel Coutinho, Gilvan Júnior, Sávio Cavalcante, Aline Lucena.

Aos grandes amigos que fiz na capital pernambucana, Aline Omar, Rogerio Araujo, Vitor Nepomuceno, Thayna Almeida, Candindo Fidelis, Marivaldo.

Aos meus parceiros de Iguatu em Recife, Bruno Eduardo, Jhon Lenon, Fábio Ferreira, Gebson Pinheiro, Hozana Francilino, e aos quase cearenses Sisgo Rachith, Douglas Alberto, Renato Augusto, Sirleide Menezes, Dayane Lima e Fernanda Andrade;

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

LISTA DE FIGURAS .....	i
LISTA DE TABELAS .....	iii
RESUMO GERAL .....	iv
GENERAL ABSTRACT.....	vi
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
HIPÓTESES .....	3
OBJETIVOS .....	3
GERAL.....	3
ESPECÍFICOS .....	3
<b>CAPITULO I: REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO .....	4
PASTAGENS .....	7
COMPORTAMENTO ANIMAL .....	9
CONFORTO TÉRMICO ANIMAL .....	11
FISIOLOGIA ANIMAL.....	13
MONITORAMENTO DE BOVINOS A PASTO .....	15
GEOESTATÍSTICA NA AGROPECUÁRIA .....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18
<b>CAPITULO II: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO</b> <b>EM FUNÇÃO DA INTENSIDADE DE PISOTEIO BOVINO .....</b>	<b>28</b>
RESUMO .....	28
ABSTRACT .....	29
INTRODUÇÃO.....	30
MATERIAL E MÉTODOS.....	31
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
CONCLUSÕES .....	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45
<b>CAPITULO III: COMPORTAMENTO DE NOVILHAS GIROLANDO A PASTO E</b> <b>MONITORAMENTO ANIMAL POR MEIO DE GPS .....</b>	<b>49</b>
RESUMO .....	49

ABSTRACT .....	50
INTRODUÇÃO.....	51
MATERIAL E MÉTODOS.....	53
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
CONCLUSÕES .....	68
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

- Figura 1.** Local da área de estudo localizada no município de Capoeiras, Pernambuco, Brasil..... 31
- Figura 2.** Croqui da área de pastagem (—); pontos de amostragens (○), área de descanso para os animais (—); área de sombra (■)..... 32
- Figura 3.** Amostrador do tipo Uhland (A); Amostra indeformada (B). ..... 32
- Figura 4.** Penetrômetro de impacto reduzido (A); Realização do método, contagem do número de impactos (B). ..... 34
- Figura 5.** Cilindro (150 mm) cravado no solo (A); Despejo do volume (150 ml) no cilindro..... 35
- Figura 6.** Mapas de krigagem da  $RP^1$  (MPa) do período que antecedeu o pastejo e  $RP^2$  (MPa) após período de pastejo..... 41
- Figura 7.** Mapas de krigagem da  $Ds^1$  ( $Kg\ dm^{-3}$ ) do período que antecedeu o pastejo e  $Ds^2$  ( $Kgdm^{-3}$ ) após período de pastejo..... 42
- Figura 8.** Mapas de krigagem da  $PT^1$  (%) do período que antecedeu o pastejo e  $PT$  (%) após período de pastejo. .... 42
- Figura 9.** Mapas de krigagem da  $KO^1$  ( $mm\ s^{-1}$ ) do período que antecedeu o pastejo e  $KO^2$  ( $mms^{-1}$ ) após período de pastejo. .... 43

### CAPÍTULO III

- Figura 1.** Croqui da área de pastagem (—); pontos de amostragens (○), área de descanso para os animais (—); área de sombra (■)..... 53
- Figura 2.** Datalogger utilizado para registro das variáveis ambientais (A); registradores instalados no interior da área de descanso (B)..... 54
- Figura 3.** Registro de imagem termográfica da novilha (A); imagem termográfica do animal com perímetro delineado (B). ..... 55
- Figura 4.** Imagem gravada, diurna (A); Imagem gravada, noturna (B)..... 56
- Figura 5.** Hardware do sistema desenvolvido (A); Protótipo experimental da coleira GPS (B); Coleira GPS presa ao pescoço do animal (C). ..... 57
- Figura 6.** Variação média da temperatura de bulbo seco ( $^{\circ}C$ ) e da umidade relativa do ar (%) ao longo do período experimental. .... 59

<b>Figura 7.</b> Variação média do índice de temperatura e umidade (ITU), ao longo do período experimental .....	60
<b>Figura 8.</b> Variação média da entalpia ( $\text{KJ kg}^{-1}$ de ar seco) ao longo do período estudado ....	61
<b>Figura 9.</b> Valores médios da Frequência respiratória (mov mim-1) registrados durante período de pastejo. ....	61
<b>Figura 10.</b> Valores médios de temperatura retal ( $^{\circ}\text{C}$ ) registrados durante o período de pastejo.....	62
<b>Figura 11.</b> Valores médios de temperatura de pelâme ( $^{\circ}\text{C}$ ) registrados durante o período de pastejo .....	62
<b>Figura 12.</b> Componentes principais das variáveis meteorológicas e comportamentais .....	65
<b>Figura 13.</b> Componentes principais das variáveis fisiológicas e ambientais.....	66
<b>Figura 14.</b> Mapas de espacialização sobrepostos: Mapa referente a percentagem de permanência dos animais na área destinada ao pastejo (A); Mapa de espacialização da matéria orgânica ( $\text{g.kg}^{-1}$ ), após período de pastejo, na camada 0,0–0,05 m (B); Mapa de espacialização da resistência do solo a penetração (MPa) após período de pastejo, na camada 0,0–0,10 m (C).....	67

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

<b>Tabela 1.</b> Característica do solo.....	31
<b>Tabela 2.</b> Classes da resistência à penetração.....	34
<b>Tabela 3.</b> Parâmetros estatísticos descritivos, relativos aos atributos físicos nas camadas 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2- 0,3m, antes do período de pastejo.....	37
<b>Tabela 4.</b> Parâmetros estatísticos descritivos, relativos aos atributos físicos nas camadas 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3m, no período após o pastejo.....	38
<b>Tabela 5.</b> Parâmetros dos modelos de semivariograma e grau de dependência espacial (GDE), antes do período de pastejo. ....	40
<b>Tabela 6.</b> Parâmetros dos modelos de semivariograma e grau de dependência espacial (GDE), após pastejo. ....	40

### CAPÍTULO III

<b>Tabela 1.</b> Caracterização física do solo .....	53
<b>Tabela 2.</b> Descrição do catálogo de atividades na determinação do comportamento .....	56
<b>Tabela 3.</b> Percentual do tempo despedido pelos animais em cada atividade.....	63
<b>Tabela 4.</b> Parâmetros estatísticos descritivos, relativos a resistência a penetração (RP) e matéria orgânica (MO), antes e após período de pastejo. ....	66

## RESUMO GERAL

Está pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar o comportamento de bovinos leiteiros em pastejo e o efeito da intensidade do pisoteio na variabilidade espacial dos atributos físicos do solo, na região Agreste de Pernambuco. A pesquisa foi conduzida em um Planossolo sob pastagem de *Brachiaria decumbens*, numa área com dimensões de 40 x 40 m, com área de descanso para os animais anexo a área de pastagem, contendo bebedouro, cocho e sombra. O solo da área foi preparado com gradagem aradora antes do plantio. A área foi manejada em sistema de pastejo contínuo, havendo bovinos leiteiros e taxa de lotação média de 12 unidade animal por hectare. Os animais utilizados foram novilhas com peso médio de 300 kg da raça Girolando, que iniciaram o período de pastejo com o pasto apresentando altura média 90 cm, sendo finalizado com altura média de 20 cm. Foram determinados os atributos físicos (resistência a penetração das raízes MPa, umidade %, densidade Kg dm<sup>-3</sup>, porosidade total % e condutividade hidráulica do solo mm s<sup>-1</sup>) na qual utilizou-se malha regular 6 x 6 m totalizando 36 pontos de amostragem. As variáveis meteorológicas (temperatura de bulbo seco °C, e umidade relativa do ar, %) foram registrados a cada 15 min durante todo o período estudo (21 dias). As variáveis fisiológicas (temperatura retal °C, temperatura de pelame °C, e frequência respiratória mov min<sup>-1</sup>) foram registradas dois dias por semana das 06h00 às 18h00 em intervalo de 3h. O posicionamento dos bovinos na área de pastejo foi registrado com auxílio de colares equipados com Arduino GPS o para monitoramento. O comportamento dos animais em pastejo foi realizado, uma vez por semana, a partir de imagens gravadas por uma câmera de vídeo e após determinada pelo método de varredura instantânea, em que o vídeo era pausado a cada 10 minutos e observado o comportamento (andando, bebendo, comendo, ruminando e ócio) dos animais para aquele instante. A avaliação da variabilidade espacial dos atributos físicos do solo foi realizada por meio da geoestatística. O comportamento dos animais foi determinado pela frequência dos eventos e sua probabilidade de ocorrência pelo teste qui-quadrado (X<sup>2</sup>). As associações das variáveis meteorológicas, fisiológicas e comportamentais foram realizadas por meio de análise multivariada e de seus componentes principais. A resistência a penetração, umidade, densidade e a condutividade hidráulica do solo apresentaram forte dependência espacial para o período que antecedeu e após o pastejo. Verificou-se maior percentual de tempo despendido com a ingestão de alimentos e ócio 34,80 e 41,20%, respectivamente. A análise de componentes principais permitiu inferir que o

comportamento dos bovinos, mesmo quando em condições de estresse térmico, se adaptaram, de acordo com as condições meteorológicas locais.

**Palavras chaves:** compactação do solo, fisiologia de bovinos, geoestatística, análise multivariada

## **GENERAL ABSTRACT**

This research was conducted with the objective of evaluating the behavior of dairy cattle under grazing and the effect of trampling intensity on the spatial variability of soil physical attributes in the Agreste region of Pernambuco. The research was conducted in a Planosol under *Brachiaria decumbens* pasture, in an area with dimensions of 40 x 40 m, with rest area for the animals attached to the grazing area, containing watering, trough and shade. The soil of the area was prepared with plowing harrow prior to planting. The area was managed in a continuous grazing system, with dairy cattle and an average stocking rate of 12 animal units per hectare. The animals used were heifers with an average weight of 300 kg of the Girolando breed, which started the grazing period with the grass presenting a mean height of 90 cm, and finished with an average height of 20 cm. The physical attributes (resistance to penetration of roots MPa, % moisture, density Kg dm<sup>-3</sup>, total porosity% and soil hydraulic conductivity mm s<sup>-1</sup>) were determined in which a regular 6 x 6 m mesh was used, totaling 36 points sampling. The meteorological variables (dry bulb temperature ° C, and relative air humidity,%) were recorded every 15 min throughout the study period (21 days). The physiological variables (rectal temperature ° C, hair temperature ° C, and respiratory rate min<sup>-1</sup>) were recorded two days per week from 06:00 a.m. to 6:00 p.m. in a 3 h interval. The positioning of cattle in the grazing area was recorded with the aid of collars equipped with Arduino GPS for monitoring. The behavior of grazing animals was performed once a week from images recorded by a video camera and after determined by the instant scan method, in which the video was paused every 10 minutes and observed the behavior (walking, Drinking, eating, ruminating and idle) of the animals for that instant. The evaluation of the spatial variability of soil physical attributes was carried out using geostatistics. The behavior of the animals was determined by the frequency of the events and their probability of occurrence by the chi-square test ( $X^2$ ). The associations of meteorological, physiological and behavioral variables were performed through multivariate analysis and its main components. The resistance to penetration, moisture, density and hydraulic conductivity of the soil presented strong spatial dependence for the period before and after grazing. There was a higher percentage of time spent with food and leisure 34.80 and 41.20%, respectively. The analysis of the main components allowed to infer that the behavior of the cattle, even when under conditions of thermal stress, adapted, according to the local meteorological conditions.

**Keywords:** soil compaction, bovine physiology, geostatistics, multivariate analysis.

## INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil deteve o segundo maior rebanho de bovinos do mundo no ano de 2014, atrás apenas da Índia, apresentando um efetivo de bovinos de 212,34 milhões de cabeças, um aumento de 0,3% em relação ao registrado no ano anterior. As regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste apresentaram um crescimento do efetivo de bovinos de 2,5%, 1,4 e 0,2 respectivamente, em relação a 2013 (IBGE, 2014).

A mesorregião do Agreste de Pernambuco tem grande destaque por ser a maior bacia leiteira do estado (SEBRAE, 2010). Tem a bovinocultura leiteira como forma de geração de renda para os produtores. No ano de 2012 a produção de leite foi de 609 milhões de litros (IBGE, 2014), caracterizando-o como o segundo maior produtor da região Nordeste, ficando atrás somente do estado da Bahia (ALMEIDA et al., 2015).

As condições climáticas podem ser determinantes para a produção de leite, sobretudo quando se trata de sistemas intensivos de produção. O estresse térmico sobre bovinos pode alterar suas atividades, ocasionando mudanças metabólicas, como aumento da frequência respiratória, elevação de perdas energéticas, redução do consumo alimentar, diminuindo assim a produção (KEMER, 2015). Esse estresse age ainda no comportamento destes animais, atividades físicas, postura corporal, busca por sombra (AZEVEDO & ALVES, 2009).

Outro fator que deve ser levado em consideração é o pisoteio bovino, que tem sido apontado como um dos principais causadores da compactação do solo (TORRES et al., 2012), o que é um grande problema, pois o nível de degradação pode chegar a valores críticos, diminuindo a produtividade das pastagens com consequente decréscimo na oferta de forragem e na produção.

A compactação é um dos processos que mais afeta a estrutura do solo. Este processo ocorre induzido por estresses mecânicos comumente originados pelo tráfego de máquinas e ação de implementos agrícolas e/ou do pisoteio de animais, podendo ocasionar degradação da qualidade física do solo e limitar o potencial da produção agrícola. Os indicadores da qualidade do solo são ferramentas recorrentes para a avaliação da sustentabilidade do uso da terra e das práticas de manejo. Para tanto, várias propriedades têm sido utilizadas para quantificar e descrever as alterações ocorridas nos processos físicos, químicos e biológicos do ecossistema em função de sua exploração agropecuária (COSTA et al., 2012).

Para uma adequada caracterização das propriedades do solo é importante considerar sua variabilidade espacial (LIMA et al., 2015). Uma das formas de se analisar a variabilidade dos atributos do solo é com o uso da geoestatística, uma ferramenta apropriada e fundamental para análise dessas propriedades, que variam de um local para outro com algum grau de

organização ou continuidade, expresso através da dependência espacial, de forma a obter conhecimento sobre a variabilidade das propriedades do solo, influenciando diretamente nos fatores de manejo e conservação dos solos (VIEIRA, 2000).

O bom emprego da tecnologia associada à variabilidade espacial e temporal é imprescindível, principalmente na pesquisa agrícola, que estuda o solo e a sua capacidade de produção. O conhecimento da variabilidade das propriedades do solo e das culturas, no espaço e no tempo, é considerado, atualmente, o princípio básico para o manejo preciso das áreas agrícolas (GREGO et al., 2012).

Outra forma moderna de gerenciar os sistemas de produção animal a pasto é a utilização da pecuária de precisão, que consiste na medição de diferentes parâmetros dos animais, modelando esses dados para selecionar a informação desejada, e o uso desses modelos visando o monitoramento e o controle de animais (BERCKMANS, 2004).

Assim, a utilização de colares GPS para o monitoramento de animais selvagens generalizou-se nos últimos dez anos. Isso abriu possibilidades de gravação de informações detalhadas da posição dos animais por longos períodos de tempo, permitindo a compreensão mais completa dos hábitos e as causas da distribuição espacial de ruminantes (VITO, 2010). Neste caso, o monitoramento conjunto do posicionamento dos bovinos com alguns atributos do solo (resistência a penetração, densidade e matéria orgânica) pode se tornar uma ferramenta importante na tomada de decisões. A partir dessas informações pode-se identificar e delimitar áreas de preferência. Isto permitiria a escolha de um manejo mais preciso acerca da lotação e da utilização sustentável das pastagens.

## **HIPÓTESES**

O pastejo contínuo de bovinos modifica a estrutura física do solo ao longo do tempo.

A caracterização dos dias críticos, a partir dos índices de conforto térmico, permitirá identificar alterações no comportamento de pastejo dos animais.

O monitoramento do posicionamento dos bovinos em pastejo pode identificar áreas de preferência dos animais.

## **OBJETIVOS**

### **Geral**

Objetiva-se com esta pesquisa avaliar o comportamento de bovinos leiteiros em pastejo e o efeito da intensidade do pisoteio na variabilidade espacial dos atributos físicos do solo sob pastagem de *Brachiaria decumbens*, na região Agreste de Pernambuco.

### **Específicos**

- Mapear e analisar a variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em função do pisoteio animal;
- Mapear a distribuição espacial do posicionamento dos animais ao longo da área de pastagem;
- Quantificar o tempo despendido pelos animais nas atividades comportamentais durante o período de pastejo;
- Caracterizar os efeitos térmicos do ambiente nas respostas fisiológicas dos bovinos leiteiros em pastejo;
- Avaliar a interação do posicionamento dos animais com a intensidade de pisoteio na compactação do solo.

## **CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA**

### **Propriedades físicas do solo**

Um dos caminhos para gerar o aumento na produção agropecuária sem ampliar as áreas produtivas é a melhoria das mesmas. 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 (PASCOA & COSTA, 2007). O monitoramento da qualidade do solo pelos atributos físicos é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas de produção.

Estudos sobre a qualidade física do solo evoluíram expressivamente ao longo dos últimos anos, uma das justificativas é a necessidade de se avaliar a variação de diversas características, principalmente em áreas cultivadas e sob pastagens (SPERA et al., 2009; SALES et al., 2010). Diferentes atributos do solo têm sido empregados para caracterizar as modificações físicas resultantes da sua compactação, causadas quase sempre pela pressão exercida pelo tráfego das máquinas agrícolas, pelo pisoteio dos animais ou, ainda, pelos diferentes sistemas de preparo e manejo. Os parâmetros utilizados comumente são a resistência do solo à penetração (TAVARES et al., 2014), a densidade, a porosidade (CARVALHO et al., 2014), e a infiltração de água no solo (ROMEIRO et al., 2014).

A pressão exercida pelo pisoteio bovino no solo, sobretudo quando descoberto, pode ocasionar a médio e longo prazo modificações nas suas propriedades físicas, resultando geralmente numa compactação superficial (BERTOL et al., 2006).

A resistência mecânica do solo a penetração das raízes está diretamente relacionada ao estado de compactação, que pode ser quantificada com o uso de penetrômetros (RODRIGUES JÚNIOR et al., 2009). Em que o número de impactos providos pelo penetrômetro a cada  $\text{dm}^{-1}$  é transformado em resistência dinâmica (MPa) Stolf (1991).

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. 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 seguinte classificação de resistência penetração (RP), adaptadas por Soil Survey Staff (1993); 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. Valores entre 2 e 2,5 MPa têm sido indicados como os limites críticos de resistência do solo à penetração para a maioria dos vegetais (SILVEIRA et al., 2010).

A RP em solos ocupados por pastagem sofre maior alteração, principalmente nas primeiras camadas do solo (COSTA et al., 2012), ainda segundo os autores a umidade pode diminuir ou prolongar essa alteração.

Em estudo realizado sobre os atributos físicos do solo em diferentes sistemas de pastejo, Cervelati et al. (2011) indicaram que em sistema de pastejo contínuo a RP foi maior até a camada de 0,20 m, tanto no período que antecedeu e após o pastejo, com resistência se mantendo acima de 2,2 Mpa, os autores ressaltaram que esses resultados podem ser ocasionados pelo fato dos bovinos permanecerem durante todo o tempo no mesmo piquete, não tendo período de descanso e também pelo crescimento da gramínea ser em touceiras proporcionando áreas descobertas de solo tendo maior impacto da pressão dos cascos dos animais no solo e conseqüentemente maior tendência a compactação, sendo confirmada pelo pós-pastejo a resistência à penetração ter sido maior que no pré-pastejo.

Dentre as propriedades físicas sujeitas às alterações pela presença dos animais, as relativas ao espaço poroso, merecem especial atenção, pois é o local que ocorrem os principais fenômenos que regulam o crescimento das plantas (SIQUEIRA JÚNIOR, 2005). Assim, a densidade do solo 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. Assim, apresentando grande relação com outros atributos como porosidade e condutividade hidráulica, além de ser utilizada como indicador do estado da compactação do solo (CAMARGO & ALLEONI, 1997).

Entende-se por densidade do solo ( $D_s$ ) a relação entre a massa de solo seco em estufa (a 105°C) e o seu respectivo volume total (água + ar). Qualquer modificação na disposição das partículas do solo afetará diretamente os valores de  $D_s$  (FERREIRA, 2010). Por isso, os solos agrícolas apresentam grande amplitude de densidade em função de suas características mineralógicas, de textura e do teor de matéria orgânica (MARCOLIN & KLEIN, 2011). Valores de densidade associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular situam-se a 1,65 g cm<sup>-3</sup> para solos arenosos e 1,45 g cm<sup>-3</sup> para solos argilosos (REINERT et al., 2013).

Na região do Brejo Paraibano numa área de pastagem explorada para alimentação de bovinos durante todo o ano, Lima et al. (2015) obtiveram valores médios de  $D_s$  1,6 e 1,5 kg dm<sup>-3</sup>, respectivamente, para as camadas 0,0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m. De acordo com Cervelati et al. (2011) a  $D_s$  aumenta após o período de pastejo.

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

A porosidade depende, sobretudo da textura e da estrutura dos solos. A porosidade dos solos arenosos varia em média de 35 a 50% e dos argilosos de 40 a 60%, e apenas solos ricos em matéria orgânica apresentam porosidade entre 60 e 80% (RABELO, 2000).

De acordo com Mion et al. (2012) a porosidade total tem apresentado grande relação com a resistência à penetração e densidade do solo, as quais tendem a aumentar com a redução do espaço poroso.

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 e pelo acréscimo do escoamento superficial das águas de chuvas ou irrigação, assim podendo potencializar os processos erosivos (SOUZA et al., 2007).

As estimativas da infiltração de água no solo podem ser obtidas usando o infiltrômetro de duplo cilindro, o permeâmetro de Guelph ou os simuladores de chuva, sendo o infiltrômetro de duplo cilindro uma das metodologias mais utilizadas (CUNHA et al., 2009; CUNHA et al., 2011; SATO et al., 2012).

O método de Beerkan (HAVERKAMP et al., 1998) também vem sendo bastante utilizado (LIMA et al., 2015; OLIVEIRA JUNIOR et al., 2014) 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 que inicialmente, se limpa o terreno para evitar possíveis distorções nas leituras, crava-se o cilindro (150 mm) na superfície do solo à uma profundidade de aproximadamente 1 cm para prevenir perdas laterais de água durante o processo de infiltração. Em seguida são preparados quinze volumes com 150 ml de água, que são vertidos no cilindro. O primeiro volume é vertido no cilindro e imediatamente após o esvaziamento do cilindro, outro volume de água é despejado em seu interior, anotando-se sempre o tempo que cada volume leva para infiltrar no solo, as leituras cessam quando as velocidades de infiltração tendem a ser constante ou após o esvaziamento do décimo quinto volume (HAVERKAMP et al., 1994). Em comparação a outros métodos experimentais, o método Beerkan é eficiente, de baixo custo e de aplicação simples e rápida.

A dependência espacial da taxa de infiltração de água no solo é atribuída não apenas a processos de formação do solo, mas também a seus sistemas de manejo. Além disso, trata-se

de um parâmetro com alta variabilidade espacial (VIEIRA et al., 1981) e, em pastagens, o hábito de pastejo do gado pode ser uma das causas para isso.

Em estudo da infiltração de água em solo em função da intensidade de pisoteio Miguel et al. (2009), obtiveram redução de 70 % da condutividade hidráulica do solo ( $K_0$ ) após a décima quinta passagem do gado pelos piquetes.

No Agreste pernambucano, utilizando o metodologia de Beerkan, em área de solo cultivado com pastagem (*Brachiaria decumbens Stapf*) Oliveira junior et al. (2014) obtiveram condutividade hidráulica média de  $0,063 \text{ mm s}^{-1}$ .

## **Pastagem**

As pastagens são a maneira mais prática e econômica para a alimentação de bovinos, garantindo baixos custos de produção (DIAS FILHO, 2014). Apesar de ser a principal fonte de alimento para os animais, as pastagens têm sido utilizadas de forma inadequada ao longo do território nacional. Conforme Pedreira & Primavesi (2011) a pecuária brasileira é praticada quase que exclusivamente em pastagens extensivas, com taxas de lotação acima da capacidade de suporte e pastos superpastejados. De acordo com os autores, o Brasil possui cerca de 50 milhões de hectares de pastagens degradadas.

Segundo Coutinho et al. (2013) a região semiárida caracteriza-se pela prática de uma pecuária extensiva, assim, o processo de degradação pelo qual vem passando essa região, causado principalmente por práticas inadequadas como o superpastejo e o extrativismo, vem esgotando o potencial produtivo dessa região. Outro fator limitante é a variação da oferta de forragens nos períodos de chuva e de seca.

Conforme Santos & Vieira et al. (2012) a opção por um sistema de pastejo é muito complexa, assim o produtor tem que levar em consideração a escolha da forrageira mais adequada às condições edafoclimáticas da região, a disponibilidade hídrica, sendo o fator mais importante, o ajuste da taxa de lotação de acordo com a capacidade suporte.

Segundo Meirelles (1993), práticas inadequadas caracterizadas pelas condições de super ou subpastejo causam acentuadas modificações na estrutura do solo e na composição botânica da pastagem. Pelo superpastejo, onde as plantas são excessivamente desfolhadas reduzindo drasticamente a altura do dossel forrageiro, causando assim, uma maior pressão de pastejo na área. Já o subpastejo onde acontece a alta disponibilidade de pasto ou a baixa lotação, favorece a seletividade dos animais por determinadas espécies, que sendo pastejadas novamente e constantemente, acabam eliminadas, enquanto outras folhas mais velhas, de

menor aceitabilidade, entram em senescência, aumentando assim a escolha e consequentemente o pisoteio.

De acordo com Da Silva et al. (2008) o superpastejo de forma contínua sem nenhum ajuste na taxa de lotação é uma das práticas mais comuns em algumas regiões do Brasil, sendo que o manejo ideal seria o controle da estabilidade da população de perfilhos, com a densidade populacional.

Segundo Martha Júnior et al. (2003) em áreas de pastejo cultivadas com *Brachiaria decumbens* os animais devem entrar nos piquetes quando o capim atingir a altura mínima de 40 cm e encerrar o pastejo quando o capim for reduzido a 20 cm, respeitando um período de 28 dias para descanso e recuperação do pasto. Ainda de acordo com o autor, para obtenção da taxa de lotação, deve-se levar em consideração a massa seca de forragem, a área de pastejo, os dias de ocupação, a oferta de forragem e o peso do animal. Conforme Matos (2002) o capim *Brachiaria decumbens*, em condições ótimas, pode suportar de 5 a 7 UA/ha.

De acordo com Vilela (2011) o gênero *Brachiaria* é caracterizado pela grande flexibilidade de uso e manejo, sendo tolerante a uma série de limitações e/ou condições restritivas de utilização para outras espécies forrageiras, a altura da planta em crescimento livre pode chegar a 1,0 m, além de oferecer suporte a 2,0 UA/ha/ano, vale ressaltar que cada UA (Unidade Animal) corresponde a 450 kg. Por ter um sistema radicular profundo a *Brachiaria decumbens* estabelece-se em solos pobres, mais profundos e pode chegar a produzir seis toneladas de matéria seca por hectare por ano (VALE et al., 2010).

A pressão sobre o solo imposta pelo pisoteio animal tem sido destacada na literatura como uma das principais causas de compactação (COSTA et al., 2009), esse efeito pode diminuir a taxa de infiltração, aumentar a erosão e reduzir o crescimento radicular das plantas. É importante ressaltar que essa compactação depende, principalmente, da classe de solo, do seu teor de umidade, da taxa de lotação animal, da massa de forragem e da espécie forrageira utilizada no sistema (MARCHÃO et al., 2007).

De acordo com Schneider et al. (1978) um bovino com peso entre 70 a 500 kg exerce uma pressão de compactação de 0,07 a 0,21 MPa, enquanto que um trator de esteira exerce somente 0,01 a 0,02 MPa de pressão.

Estudando a qualidade física do solo sob sistemas de interação lavoura-pecuária e utilizando 3,5 UA/há, Santos et al. (2011) observaram que o pisoteio bovino alterou os atributos físicos do solo na camada 0,0-0,20 m, tanto na condição de pastagem contínuo como no pastejo rotacionado.

Avaliando a compactação de áreas de pastagens com 20 anos de uso e área de floresta sob Latossolo Amarelo distrófico, Silva Filho et al. (2010) obtiveram valores médios de resistência a penetração 6,6 e 1,4 MPa na camada 0,0-0,10 m, para pastagem e floresta, respectivamente.

Analisando um período de pré e pós-pastejo Cervelati et al. (2011) indicaram que a pressão do casco dos animais (4 UA/ha) em pastejo comprometeu a qualidade física do solo, principalmente, na camada superficial.

Assim, a intensificação do pastejo pelo aumento da taxa de lotação animal e a pressão de pastejo são as principais causas relacionadas à compactação dos solos nos sistemas de produção animal a pasto (LEÃO et al., 2006).

### **Comportamento Animal**

Uma das formas de diagnosticar possíveis situações de desconforto que possam vir a prejudicar a produtividade e o bem-estar dos animais é o conhecimento do seu comportamento. 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 (SOUZA & BATISTA, 2012).

Os bovinos normalmente dividem sua rotina em períodos alternados de pastejo, ruminação e descanso (ócio), destinando, em média, cerca de um terço do dia ou 8 horas para cada atividade. 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 (ZANINE et al., 2006). Ainda, conforme os autores, os animais permanecem em ócio nos horários mais quentes do dia como estratégia de melhorar o aproveitamento energético do alimento. Esse padrão característico pode ser alterado por atividades de rotina como ordenha, mudança de piquetes (pastejo rotacionado), qualidade e oferta de 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 (SILVA et al., 2006).

Têm-se utilizado inúmeras técnicas e equipamentos para monitoramento do comportamento ingestivo, entre elas as observações visuais em intervalos de tempo, o colar Ethosys, o GIS/GPS, as câmeras gravadoras, e mais recentemente gravadores do som emitido pelo animal em pastejo (bioacústica) (CARVALHO et al., 2009). Diferentes trabalhos

(MARTISKAINEN et al., 2009; NADIMI et al., 2018) abordaram a identificação automática do comportamento animal, porém sem relação destes comportamentos com o ambiente em que o animal está inserido.

A literatura traz exemplos de protocolos com observações visuais em intervalos de cinco minutos (MEZZALIRA, 2009), sete minutos (DESWYSEN et al., 1993), dez minutos (THUROW et al., 2009), 15 minutos (PORTUGAL et al., 2000), até meia hora entre observações (SILVA et al., 2004), 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 (BERCHIELLI, 2011).

Analisando o comportamento de vacas Girolando em lactação, na região Agreste do estado de Pernambuco, Almeida et al. (2013) obtiveram o tempo despedido 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%.

Utilizando novilhas da raça Girolando em pasto de *Brachiaria*, Zanine et al. (2008) obtiveram médias diárias de 7h79min; 7h00min e 8h46min, respectivamente para pastejo, ruminação e ócio. Segundo os autores, as médias no período noturno e diurno foram respectivamente, 5h43min e 2h36min; 2h36min e 4h56min; 3h29min e 4h73min, para pastejo, ruminação e ócio.

Em estudo do comportamento de vacas Holandesas puras em ambiente quente, Da Mata et al. (2016) observaram que a porcentagem de tempo despedido pelos animais foi de 44%, 16%, 23% e 7%, respectivamente para alimentando, ruminando, ócio e outras atividades (fezes, urina, ingestão de água, andando e socializando).

Analisando o comportamento ingestivo diurno de vacas Girolando, sob diferentes taxas de lotação (2, 4 e 6 UA/Ha), na região de zona da mata seca do estado pernambucano Silva et al. (2011) indicaram que os bovinos apresentaram comportamento semelhante nas diferentes taxas de lotação. Segundo os autores o superpastejo pode alterar o comportamento dos animais, uma vez que com o rebaixamento da altura do pasto os bovinos tendem a aumentar o tempo de pastejo.

## **Conforto térmico animal**

Em ambientes de clima quente, duas estratégias podem ser utilizadas para aumentar o desempenho animal, a primeira é utilizar raças que sejam geneticamente mais adaptadas ao ambiente tropical e a segunda é alterar o ambiente a fim de reduzir o estresse térmico pelo calor (CATTELAM & VALE, 2013).

Em períodos quentes, com registro de alta temperatura ambiente e alta umidade relativa do ar, os bovinos utilizam alguns mecanismos, como redução no tempo de alimentação e ruminação e aumento no tempo de ócio, numa provável tentativa de diminuir a produção de calor metabólico. Além da redução da atividade de alimentação, há uma inversão dos hábitos alimentares, em elevadas temperaturas o animal altera seu padrão de pastejo para evitar as horas quentes do dia e durante o verão o pastejo diurno é reduzido a menos de duas horas, enquanto o noturno aumenta para aproximadamente 6h30 (FERREIRA, 2010).

Conforme Ferreira (2010) temperaturas elevadas nas quais a produção de calor excede a dissipação pelos animais, todas as fontes que geram calor endógeno são inibidas, principalmente o consumo de alimento, o metabolismo basal e energético, enquanto que a temperatura corporal, a frequência respiratória e a taxa de sudorese aumentam.

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 (BAETA & SOUZA, 1997), ITU (Índice de Temperatura e Umidade) abaixo de 72 (ARMSTRONG, 1994) e entalpia menor que 67,4 KJ kg<sup>-1</sup> (ALMEIDA et al., 2011). Nessas condições, o corpo do animal mantém-se constante (homeotermia), com o mínimo de esforço do sistema termorregulador. Assim, o animal sente-se confortável e obtém eficiência máxima de produção e reprodução (PASSINI et al., 2009). 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 conseguir dissipar calor suficientemente para manter a sua homeotermia.

As ondas de calor que ocorrem no início da estação quente podem ser devastadoras para a bovinocultura de leite. Segundo Kemer (2015) o estresse calórico 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.

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 ruminção e o ócio.

Avaliando o comportamento de vacas Holandês puras em duas fases do ano A e B (A: julho/agosto, temperatura mais baixas, e B: outubro/novembro, temperaturas mais elevadas) Da Mata et al. (2016) observaram que na fase (A) os animais elevaram as atividades de ruminção e ócio e tenderam a ficar em pé durante os horários mais quentes. Na fase (B), em que ocorreu maior desconforto térmico, os animais permaneceram mais de 90% do tempo avaliado na sombra.

Para estimar o conforto térmico animal, vários índices têm sido desenvolvidos a partir de testes que têm, por objetivo, expressar o conforto com relação a um dado ambiente (BAÊTA & SOUZA, 2010). Segundo Perissinotto et al. (2007) os índices de conforto térmico, determinados por meio de dois ou mais elementos meteorológicos, servem para avaliar o ambiente e procuram caracterizar, em uma única variável, o estresse a que os animais estão submetidos.

Um método que é bastante utilizado para determinar o conforto térmico animal é o índice de temperatura e umidade (ITU) desenvolvido por Thom (1959), como um índice de conforto para humanos, é muito empregado em trabalhos sobre conforto térmico para gado leiteiro, embora por apresentar apenas duas variáveis (temperatura e a umidade do ar) proporciona limitação em representar de forma mais ampla as condições ambientais sob as quais os animais vivem (ALMEIDA, 2009). De acordo com a classificação de Armstrong (1994) o ITU abaixo de 72 caracterizaria um ambiente sem estresse por calor, classificado como ameno quando entre (72 a 78), moderado (79 a 88) e severo (89 a 98).

A entalpia (h) é uma variável física que indica a quantidade de energia contida em uma mistura de vapor d'água e ar seco ( $\text{kJ kg de ar seco}^{-1}$ ). Quanto mais elevado for o valor da entalpia, maior será a quantidade de energia presente no ar, assim causando um maior desconforto sobre os animais, portanto, nessas circunstâncias, as perdas de calor através de processos evaporativos tornam-se mais difíceis (CONCEIÇÃO, 2008). Segundo Almeida et al. (2011) o limite crítico de entalpia são valores superiores a  $67,4 \text{ KJ kg}^{-1}$  de ar seco.

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

Avaliando as respostas termorreguladoras e ambiente térmico de bovinos criados em regiões de clima tropical nos períodos manhã e tarde Alves (2014) obteve médias de ITU e

entalpia, respectivamente, para os períodos estudados, de 80 e 82; 76,7 e 78,3 KJ kg<sup>-1</sup> de ar seco.

Em estudo do uso do sistema de resfriamento adiabático evaporativo no conforto térmico de vacas da raça Girolando no turno da manhã e tarde, Almeida et al. (2011) obtiveram valores médios da Tbs, UR, ITU e h, de 21,4 e 29,2 °C; 86,5 e 57,3%; 70,0 e 77,8; 60,4 e 70,5 KJ kg<sup>-1</sup>, nos respectivos turnos.

Analisando o uso de sombreamento (sombrite) sobre índices térmicos Barbosa (2012) obteve valores médios de temperatura de bulbo seco (Tbs) para sol e sombra, respectivamente, para os horários de 8h00; 10h00; 12h00; 14h00; 16h00 e 18h00: 23,43 e 21,25 °C; 27,87 e 25,30 °C; 32,15 e 29,04 °C; 34,31 e 30,01 °C; 32,63 e 29,00 °C; 22,75 e 23,00 °C. E valores médios de ITU para sol e sombra, respectivamente, para os horários de 8h00; 10h00; 12h00; 14h00; 16h00 e 18h00: 68,75 e 66,38; 73,88 e 71,13; 78,13 e 74,50; 80,38 e 75,31; 77,88 e 73,75; 67,75 e 66,75. O autor concluiu que o sombreamento artificial auxilia na manutenção da homeotermia pelo animal, reduzindo o uso de mecanismos de termorregulação.

### **Fisiologia animal**

Fisiologicamente os animais reagem diferentemente a exposições frequentes a radiação solar, a mudanças drásticas de temperatura dentre outros fatores ambientais, o que altera o comportamento e a produtividade, além de desencadear alterações fisiológicas para o ajuste e manutenção da temperatura corporal (ROBERTO et al., 2010).

Os efeitos do ambiente térmico sobre as respostas fisiológicas de bovinos leiteiros como a temperatura retal (TR), frequência respiratória (FR), e temperatura de pelame (TP) são variáveis que podem caracterizar situações de estresse (SOUZA & BATISTA, 2012). Para muitos pesquisadores são consideradas as melhores referências fisiológicas para estimar a tolerância dos animais ao calor (ALMEIDA et al., 2016; BARNABÉ et al., 2015; BERTONCELLI et al., 2013)

A temperatura retal é um importante indicador do balanço térmico que pode ser utilizado para avaliar o estresse térmico. 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) (PERISSINOTTO et al., 2009). Para rebanhos leiteiros os intervalos considerados normais podem variar de 38,0 a 39,3 °C de acordo com Robertshaw (2006).

A medida da temperatura retal é usada frequentemente como fator de adaptabilidade fisiológica aos ambientes quentes, pois seu aumento mostra que os mecanismos de liberação de calor tornaram-se insuficientes (FERREIRA et al., 2006).

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.

A FR elevada atua como forma de dissipar calor excedente, quando mantida por várias horas, pode interferir na ingestão de alimentos e ruminação, adicionar calor endógeno a partir da atividade muscular e desviar a energia que poderia ser utilizada em outros processos metabólicos e produtivos (SOUZA et al., 2010).

Segundo Hahn et al. (1997) valores de FR entre 18 e 60 mov min<sup>-1</sup> indica animais com ausência de estresse, mas, quando esta frequência ultrapassa 120 mov min<sup>-1</sup> reflete carga excessiva de calor e, acima de 160 mov min<sup>-1</sup>, medidas de emergência devem ser tomadas, como, por exemplo, molhar os animais.

A temperatura de pelâme depende principalmente das condições ambientais de umidade, temperatura do ar, velocidade do vento e das condições fisiológicas, como vascularização e evaporação pelo suor. Assim, a temperatura de superfície de pelâme contribui para a manutenção da temperatura corporal mediante trocas térmicas com o ambiente em temperaturas amenas (BERTIPAGLIA et al., 2008). Conforme Silva et al. (2010) a pele dos animais apresenta importância fundamental na manutenção da homeotermia, por meio de perda de calor por sudorese.

De acordo com Titto et al. (2006) o efeito benéfico da disponibilidade de sombra para os animais de produção baseia-se na melhoria de suas condições fisiológicas (frequência respiratória, temperatura retal, batimentos cardíacos, etc) e no comportamento animal (consumo, ócio, ruminação, etc). O sombreamento pode reduzir em até 30% as variáveis fisiológicas dos animais. Uma vez que os bovinos procuram as sombras nas horas mais quentes do dia e essa necessidade de áreas sombreadas depende, dentre outras coisas, da intensidade de radiação solar e da capacidade de adaptação do animal ao calor (BAËTA & SOUZA, 2010).

Observando o efeito do sombreamento, Barbosa (2012) observou que os animais submetidos a sombra (sombrite) apresentaram melhores respostas fisiológicas do que quando

colocados em pleno sol. Apresentando, respectivamente, para sombra e sol, TR, FR e TP, médias de 39,01 e 39,39 °C; 62,61 e 66,71 mov min<sup>-1</sup>; 31,09 e 33,91 °C.

Analisando respostas adaptativas da raça Girolando por meio de avaliação das características termorreguladoras submetida às condições climáticas do semiárido piauiense, Barros Junior et al. (2016) obtiveram para os turnos manhã e tarde, respectivamente, médias de 38,35 e 38,68 °C para TR, 34,07 e 34,37 mov/min<sup>-1</sup> para FR e 24,47 e 31,54 °C para TP.

Avaliando tourinhos das raças Sindi e Guzerá mantidos em regime de semiconfinamento, no Agreste paraibano, Furtado et al. (2012) encontraram médias diárias de 38,89 e 38,88 °C de TR; 23,57 e 23,65 mov min<sup>-1</sup> de FR e 30,74 e 30,58 °C de TP, para as respectivas raças.

Estudando o conforto térmico de vacas da raça Girolando no turno da manhã e tarde, Almeida et al. (2011) obtiveram valores médios, respectivamente, para TR, FR e TP de 38,2 e 39,1 °C; 36,0 e 61,5 mov min<sup>-1</sup> e 30,1 e 38,5 °C, nos respectivos turnos.

### **Monitoramento de bovinos a pasto**

A pecuária de precisão diz respeito a inovações tecnológicas que monitoram o animal no seu ambiente pastoril (CARVALHO et al., 2009), sendo uma forma eficiente de gerenciar a produção, bem como conhecer mais a respeito do comportamento do animal inserido naquela região (JESUS, 2014).

O projeto Zebranet (JUANG et al., 2002) foi um dos precursores do monitoramento animal. O sistema foi criado com o intuito de rastrear as migrações de Zebras no continente Africano, com auxílio de colares com sensor GPS embutido, colocados no pescoço dos animais.

O monitoramento conjunto da posição dos bovinos por GPS e de atributos do solo relacionados ao seu estado de compactação pode se tornar uma ferramenta importante na tomada de decisões. A partir dessas informações pode-se identificar e delimitar áreas de preferência. Isto permitiria a escolha de um manejo mais preciso acerca da lotação e da utilização sustentável das pastagens. Assim, as ferramentas de monitoramento animal podem ser importantes para definir que espécies animais e categorias podem ser utilizadas, como também a disposição espacial de sombra, saleiros, comedouros, bebedouros e outros, com o objetivo de melhorar o uso dos recursos disponíveis e promover visitas aos locais poucos frequentados na pastagem (LACA, 2008).

Em estudo sobre o monitoramento de bovinos utilizando colares com sensor GPS embutido e imagens de satélite Handcock et al. (2009) observaram que os animais se

mantiveram perto do bebedouro por uma grande quantidade de tempo procurando não se afastar deste local. A partir dessa informação é possível definir precisamente a quantidade de bebedouros necessários para que haja uma exploração mais eficiente da área de pastagem.

Avaliando identificação do comportamento bovino por meio do monitoramento animal Jesus (2014) desenvolveu um colocar GPS de baixo custo utilizando placa arduino, alimentada por uma bateria de 3,7V de 17000mA, em que o colar ficou preso ao pescoço dos animais e os dados de monitoramento eram armazenados em cartão de memória e posteriormente recuperados manualmente. Após teste de precisão o autor constatou 0,4 m, na qual a considerou como ótima, segundo o autor após obtenção das coordenadas geográficas as mesmas foram inseridas em um software denominado ÁPIS que forneceu os comportamentos (comendo/buscando, andando, deitada e em pé). Foram registradas 3219 atividades, onde comendo/buscando foi classificado 1641 vezes, deitado 825 observações, andando com 453 observações, em pé com 300 observações. O autor concluiu que o projeto de criação da coleira GPS apresentou êxito, mas a confiabilidade dos resultados de comportamento ainda precisa ser melhor analisada.

### **Geoestatística na agropecuária**

A geoestatística iniciou-se com Krige (1951), quando observou que as variâncias de dados de mineração de ouro obtidas por meio da abordagem clássica de amostragem, não faziam sentido se não considerasse as distâncias entre as amostras. A partir daí surgiu a teoria das variáveis regionalizadas de Matheron (1963), definida como uma função espacial numérica, variável de um local para outro, com certa continuidade, onde sua variação não pode ser representada por uma função matemática simples.

Conforme Matheron (1971), a teoria das variáveis regionalizadas permite a aplicação da geoestatística para dois propósitos distintos: 1) o teórico, para descrever as propriedades da estrutura espacial de um fenômeno regionalizado; e 2) o prático, para estimativa de uma variável regionalizada com base em dados de uma amostragem.

A análise geoestatística pode facilitar a indicação de alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos da variabilidade espacial na produção, mas também para estimar respostas de determinadas práticas de manejo, além de oferecer técnicas para a elaboração de mapas de variáveis georreferenciadas, utilizando o método de interpolação de informações a partir de resultados obtidos em locais convenientemente amostrados e modelados em um semivariograma experimental (FARACO et al., 2008).

O semivariograma é uma ferramenta básica de suporte às técnicas de krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (HUIJBREGTS, 1975). Esse semivariograma é dividido em três parâmetros: alcance (a): distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente; patamar (C): é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras; efeito pepita (C0): revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (ISAAKS & SRIVASTAVA, 1989). Os modelos básicos de ajuste do semivariograma são o exponencial, esférico e gaussiano (CAMARGO, 1998). A partir dos resultados amostrais, é possível gerar uma superfície contínua, expressa por mapas, por meio de métodos de interpolação. (MONTENGRO & MONTENEGRO, 2006; ANGELICO, 2006).

O solo apresenta heterogeneidade e sua variabilidade espacial, horizontal e vertical, é dependente dos fatores de formação e ao manejo o qual este vem sendo submetido (SOUZA et al., 2001). A heterogeneidade é uma característica peculiar dos solos, porém o cultivo, máquinas e o pisoteio animal, acarretam alterações dos seus padrões, aumentando a variabilidade dos seus atributos (SANTOS et al., 2006). Desta forma, conhecer a variabilidade dos atributos do solo, no espaço, pode ser considerado, o princípio básico para o manejo localizado das áreas agrícolas, qualquer que seja sua escala (GREGO et al., 2012).

O modelo de semivariograma mais utilizado para descrever o comportamento dos atributos do solo de acordo com Cambardella et al. (1994) é o esférico, 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%.

Analisando a variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo Amarelo, Mion et al. (2012) observaram que através da análise dos semivariogramas que todas as variáveis estudadas apresentaram um GDE fraco. Avaliando a variabilidade espacial da infiltração de água em solo sob pastagem em função da intensidade de pisoteio, Miguel et al. (2009) obtiveram GDE moderado. Observando a variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens, Guimarães et al. (2016) obtiveram moderada GDE para condutividade hidráulica do solo, porosidade total e densidade do solo.

## REFERENCIAS

ANGELICO, J. C. Desempenho da co-krigagem na determinação da variabilidade de atributos do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 931-936, 2006.

ALMEIDA, G. L. P. **Climatização na pré-ordenha de vacas da raça girolando e seus efeitos na produção e qualidade do leite e no comportamento animal**. 2009. 134f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; GUISELINI, C.; HENRIQUE, H. M.; DE 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.; 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, p. 892-899, 2013.

ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; BAPTISTA, F.; GUISELINI, C.; BARNABÉ, J. M. C. Thermal efficiency of individual shelters for girolando calves in brazilian semi-arid regions. **Engenharia Agrícola**, v. 36, p. 13-23, 2016.

ALMEIDA, T. J. O.; DE ARAÚJO, V. V.; DA SILVA FEITOSA, P. J.; DA SILVA, A. D. F. A. Perfil sociocultural de produtores de leite bovino do município de São Bento do Una (PE) e suas implicações sobre o manejo da ordenha. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v. 9, p. 122-135, 2015.

ALVES, M. A. **Respostas termorreguladoras e ambiente térmico de bovinos leiteiros em regiões de clima tropical**. 2014. 79f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará. 2014.

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

AZEVÊDO, D. M. R.; ALVES, A. A. **Bioclimatologia aplicada á produção de bovinos leiteiros nos trópicos**. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 83p. 2009.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais e conforto térmico**. 1.ed. Viçosa: UFV, 1997. 246p.

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.

BARBOSA, L. S. **Uso de sombreamento sobre índices térmicos, respostas fisiológicas e desempenho de bezerras cruzadas ½ Holandês x ½ Jersey a pasto**. 2012. 77f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás, ANÁPOLIS, 2012.

BARROS JUNIOR, C. P.; DE SOUSA, P. H. A. A.; EVANGELISTA, A. F.; CAVALCANTE, D. H.; BARROS, T. D.; FONSECA, W. J. L.; DE SOUSA JÚNIOR, S. C. Diferenças sazonais e diurnas nas respostas de vacas Girolando ao ambiente térmico do semiárido do Piauí, Brasil. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 4, p. 84-88, 2016.

BERCKMANS, D. Automatic on-line monitoring of animals by precision livestock farming. In: **Proceedings of the ISAH Conference on Animal Production in Europe: The Way Forward in a Changing World**, vol. 1, Saint-Malo, France, October 11–13, p. 27–31, 2004.

BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G.; **Nutrição de Ruminantes**. 2ª Edição Jaboticabal: FUNEP, 2011. 616p.

BERTONCELLI, P.; MARTIN, N. M.; ZIECH, M. F.; PARIS, W.; CELLA, P.S. Conforto térmico alterando a produção leiteira. Enciclopédia Biosfera: **Centro Científico Conhecer**, v. 9, p.0-762, 2013.

BERTIPAGLIA, E. C. A.; SILVA, R. G.; CARDOSO, V.; FRIES, L. A. Desempenho reprodutivo, características do pelame e taxa de sudação em vacas da raça Braford. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 1573-1583, 2008.

BERTOL, I.; MAFRA, A. L.; COGO, N. P. Conservação do solo em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 23. 2006, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, p. 139-163, 2006.

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.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132p.

CAMARGO, E. C. G. Geoestatística: **fundamentos e aplicações. Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1998.

CARVALHO, P. C. D. F.; TRINDADE, J. K. D.; MEZZALIRA, J. C.; POLI, C. H. E. C.; NABINGER, C.; GENRO, T. C. M.; GONDA, H. L. Do bocado ao pastoreio de precisão: compreendendo a interface planta-animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. **Revista brasileira de zootecnia**. Viçosa, MG. v. 38, p. 109-122, 2009.

CARVALHO, M. A.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; PASSOS, R. R.; ARAUJO, C. A. S. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 1010–1016, 2014.

CATTELAM, J.; VALE, M. M. Estresse térmico em bovinos. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v. 108, p. 96-102, 2013.

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

CONCEIÇÃO, M. N. **Avaliação da influência do sombreamento artificial no desenvolvimento de novilhas leiteiras em pastagens**. 2008. 138p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

COSTA, A.; ALBUQUERQUE, J. A.; MAFRA, A. L.; SILVA, F. R. Propriedades físicas do solo em sistemas de manejo na integração agricultura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 235-244, 2009.

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

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

CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; ARAÚJO, E.; SANTOS JR, R. B. Velocidade de infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. **Caatinga**, v. 22, p. 199-205, 2009.

CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, C. A.; COELHO, M. E. H.; FONTE, L. O.; SILVA, M. G. O.; SILVA, I. N. Velocidade de infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido ao sistema de cultivo mínimo. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 7, p. 30-35, 2011.

DA MATA, B. C.; PIRES, M. D. F. Á.; MARQUES, L. C. G.; PORTO, B. R.; DE CARVALHO JUNIOR, I. S. Comportamento diurno de vacas Holandesas puras por cruzas em ambiente quente. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 8, p. 49-56, 2016.

DA SILVA, S. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SBRISSIA, A. F. Dinâmica de população de plantas forrageiras em pastagens. Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem, v. 4, p. 75-100, 2008.

DIAS FILHO, M. B. Recuperação de pastagens degradadas na Amazônia: desafios, oportunidades e perspectivas. **Políticas agroambientais e sustentabilidade: desafios, oportunidades e lições aprendidas**. Ipea, p. 149-169, 2014.

DESWYSEN, A. G.; DUTILLEUL, P. A.; GODFRIN, J. P. Nycterohemeral eating and ruminating patterns in heifers fed grass or corn silage: analysis by finite fourier transform. **Journal of Animal Science**, v. 71, p. 2739-2747, 1993.

FARACO, M. A.; URIBE OPAZO, M. A.; DA SILVA, E. A. A.; JOHANN, J. A.; BORSSOI, J. A. Seleção de modelos de variabilidade espacial para elaboração de mapas temáticos de atributos físicos do solo e produtividade da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 463-476, 2008.

FERREIRA, F.; PIRES, M. F. A.; MARTINEZ, M. L.; COELHO, S. G.; CARVALHO, A. U.; FERREIRA, P. M.; FACURY FILHO, E. J.; CAMPOS, W. E. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, p. 732-738, 2006.

FERREIRA, M. M. **Caracterização física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-28, 2010.

FERREIRA, L. C. B. **Respostas Fisiológicas e Comportamentais de Bovinos Submetidos a Diferentes Ofertas de Sombra**. 2010. 88f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

FURTADO, D. A.; PEIXOTO, A. P.; REGIS, J. E.; DO NASCIMENTO, J. W.; ARAUJO, T. G.; LISBOA, A. C. Termorregulação e desempenho de tourinhos Sindi e Guzerá, no Agreste paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 9, 2012.

GREGO, C. R.; RODRIGUES, C. A. G.; NOGUEIRA, S. F.; GIMENES, F. M. A.; OLIVEIRA, A.; ALMEIDA, C. G. F.; FURTADO, A. L. S.; DEMARCHI, J. J. A. A. Variabilidade espacial do solo e da biomassa epígea de pastagem, identificada por meio de geostatística. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 1404-1412, 2012.

GUIMARÃES, W. D.; JUNIOR, J. G.; MARQUES, E. A.; SANTOS, N. T.; FERNANDES, R. B. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agrônoma**, v. 47, p. 247, 2016.

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, Michigan*, v. 40, p. 97-121, 1997.

HANDCOCK, R. N.; SWAIN, D. L.; BISHOP-HURLEY, G. J.; PATISON, K. P.; WARK, T., VALENCIA, P.; O'NEILL, C. J. Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing. **Sensors**, v. 9, p. 3586-3603, 2009.

HAVERKAMP, R.; PARLANGE, J. Y.; CUENCA, R.; ROSS, P. J.; STEENHUIS, T. S. Scaling of the Richards equation and its application to watershed modeling. In: Sposito, G. (ed.). **Scale dependence and scale invariance in hydrology**. Cambridge: Cambridge University Press, p.190-223, 1998.

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.

HUIJBREGTS, C. J. **Regionalized variables and quantitative analysis of spatial data**. *Display and analysis of spatial data*, p. 38-53, 1975.

INSTITUO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da Pecuária Municipal**. Brasil, v. 42. 2014.

ISAAKS, Edward H.; SRIVASTAVA, R. Mohan. **Applied geostatistics**, 1989. 561p.

JESUS, L. **Identificação do comportamento bovino por meio do monitoramento animal**. 2014. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2014.

JUANG, P.; OKI, H.; WANG, Y.; MARTONOSI, M.; PEH, L. S.; RUBENSTEIN, D. Energy-efficient computing for wildlife tracking: Design tradeoffs and early experiences with ZebraNet. **ACM Sigplan Notices**. ACM, 2002. p. 96-107.

KEMER, A. **Índices de conforto térmico para bovinos de leite no Planalto Catarinense**. 2015. 24f. Projeto de pesquisa (Ciências Rurais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Curitibanos, 2015.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine evaluation problems on the Witwatersrand. **Journal of South African Institution of Mining and Metallurgy**, v. 52 p. 119-139, 1951.

LACA, E.A. Pastoreo de precisión. In: **Bioma Campos: innovando para mantener su sustentabilidad y competitividad**. Montevideo: Tradinco. v. 1. 2008. p. 29-40.

LEÃO, T. P.; SILVA, A. P.; MACEDO, M. C. M.; IMHOFF, S.; EUCLIDES, A. P. B. Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. **Soil Tillage Research**, v.88, p.297-285, 2006.

LIMA, F. V. D.; SILVINO, G. D. S.; MELO, R. S. D. S.; LIRA, E. C.; RIBEIRO, T. D. Spatial variability of soil physical properties in the hilly area of degradation process. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 53-63, 2015.

MATOS, L. L. **Estratégias para redução do custo de produção de leite e garantia de sustentabilidade da atividade leiteira**. Simpósio sobre sustentabilidade da pecuária leiteira na região sul do Brasil, p. 156-183, 2002.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR J. D. G ; SA, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um latossolo vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.873-882, 2007.

MARCOLIN, C. D.; KLEIN, V. A. Determinação da densidade relativa do solo por uma função de pedotransferência para a densidade do solo máxima. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 22, p. 249-254, 2011.

MARTHA JÚNIOR, G. B.; BARIONI, L. G.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. D. O. Área de piquete e taxa de lotação no pastejo rotacionado. Embrapa Cerrados. **Comunicado Técnico**, 2003.

MATHERON, G. Principals of geostatistics. **Economic Geology**, v. 58, p. 1246- 1266, 1963.

MATHERON, G. **The theory of regionalized variables and its applications.** Fontainebleau: École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 1971. 211p.

MARTISKAINENA, P.; JÄRVINEN, M.; SKÖN, J.; TIIRIKAINEN, J.; KOLEHMAINEN, M.; MONONEN, J. Cow behaviour pattern recognition using a threedimensional accelerometer and support vector machines. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 119, p. 32 – 38, 2009.

MEIRELLES, N. M. F. Degradação de pastagens: critérios de avaliação. **Encontro Sobre Recuperação de Pastagens**, v. 1, p. 27-48, 1993.

MEZZALIRA, J. C. **O manejo do pastejo em ambientes pastoris heterogêneos: comportamento ingestivo e produção animal em distintas ofertas de forragem.** 2009. 159f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. L.; SILVA, S. F.; DUARTE, J. M. L. SOUSA, B. M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo Amarelo. **Semina: Ciência Agrárias**, v.33, p.2057-2066, 2012.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Spatial variability of water infiltration rate in soil under pasture as a function of cattle trampling intensity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1513-1519, 2009.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. G. L. Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p. 30–37, 2006.

MORRILL, W. B. B.; ROLIM, M. M.; BEZERRA NETO, E.; PEDROSA, E. M. R.; OLIVEIRA, V. S.; ALMEIDA, G. L. P. Produção e nutrientes minerais de milho forrageiro e sorgo sudão adubado com soro de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 182- 188, 2012.

NADIMI, E.; SOGAARD, H.; BAK, T. Zigbee-based wireless sensor networks for classifying the behaviour of a herd of animals using classification trees. **Biosystems Engineering**, v. 100, p. 167 – 176, 2008.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. A.; DE SOUZA, E. S.; CORREA, M. M.; LIMA, J. R. D. S.; SOUZA, R. M.; DA SILVA FILHO. Variabilidade espacial de propriedades hidrodinâmicas de um Neossolo Regolítico sob pastagem e caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 631-639, 2014.

PASCOA, A. G.; COSTA, M. J. R. P. Aplicação dos sistemas de informação geográfica para definição de estratégias de manejo de bovinos nas pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, p. 45-51, 2007.

PASSINI, R.; FERREIRA, F. A.; BORGATTI, L. M. O.; TERÊNCIO, P. H.; DE SOUZA, R. T. Y. B.; RODRIGUES, P. H. M. Estresse térmico sobre a seleção da dieta por bovinos. **Revista Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 31, p. 303-309, 2009.

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

PERISSINOTO, M.; MOURA, D. J.; CRUZ, V. F. Avaliação da produção de leite em bovinos utilizando diferentes sistemas de climatização. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 30, p. 135-142, 2007.

PERISSINOTTO M.; MOURA D. J.; CRUZ V. F.; SOUZA S. R. L.; LIMA K. A. O.; MENDES A. S. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1492-1498, 2009.

PORTUGAL, J.A.B.; PIRES, M.F.A.; DURÃES, M.C. Efeito da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar sobre a frequência de ingestão de alimentos e de água e de ruminação em vacas de raça holandesa. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.52, p.154-159, 2000.

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

REINERT, D. J.; GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1-10, 2013.

ROBERTO, J. V. B.; SOUZA, B. B.; SILVA, A. L. N.; JUSTINIANO, S. V.; SOARES FREITAS, M. M. Parâmetros hematológicos de caprinos de corte submetidos a diferentes níveis de suplementação no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 23, p. 127-132, 2010.

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 JUNIOR, D. J.; TORRES, J. L. R.; CAVALCANTI, R. A.; SENE, G. A.; INÊS, E. A. S.; JAIME, D. G. compactação do solo e o pisoteio bovino numa pastagem com e sem irrigação. In: **II Seminário Iniciação Científica – IFTM**, Campus Uberaba, MG. 20 de outubro de 2009.

ROMEIRO, E. R.; BONINI, C. S. B.; NETO, A. B. Infiltração de água no solo sob diferentes usos e manejo. **X Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 7, p. 39-49, 2014.

SALES, L. E. O.; CARNEIRO, M. A. C.; SEVERIANO, E. C.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M. Qualidade física de Neossolo Quartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 667-674, 2010.

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

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURAIISHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho e atributos

físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do cerrado brasileiro. **Acta Science Agronomy**, v. 28, p. 313-321, 2006.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; MEDRADO, E.; DA SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1339-1348, 2011.

SATO, J. H.; FIGUEIREDO, C. C.; LEÃO, T. P.; RAMOS, M. L. G.; KATO E. Matéria orgânica e infiltração da água em solo sob consórcio milho e forrageiras. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 189-193, 2012.

SCHNEIDER, P. R.; GALVÃO, F.; LONGHI, S. J. Influência do pisoteio de bovinos em áreas florestais. **Revista Floresta**, v.19, p.19-23, 1978.

SEBRAE. **Bovinocultura de Leite. Boletim Setorial do Agronegócio** - Nº 3. Recife, 2010.

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.

SILVA, E. M. N.; SOUZA, B. B.; SOUSA, O. B.; SILVA, G. A.; FREITAS, M. M. S. Avaliação da adaptabilidade de caprinos ao semiárido através de parâmetros fisiológicos e estruturas do tegumento. **Revista Caatinga**, v. 23, p. 142-148, 2010.

SILVA FILHO, E. P.; COTTAS, L. R.; MARINI, G. B. S. Avaliação da compactação dos solos em áreas de pastagens e florestas em Porto Velho-Rondônia. **Boletim de Geografia**, v. 28, p. 145-155, 2010.

SILVA, R. R.; SILVA, F. F.; PRADO, I. N.; CARVALHO, G. G. P.; FRANCO, I. L.; ALMEIDA, V. S. Comportamento ingestivo de bovinos. aspectos metodológicos. **Archivos de Zootecnia**, v. 55, p. 293-296, 2006.

SILVA, R. R.; MAGALHÃES, A. F.; CARVALHO, G. G. P. SILVA, F. D, FRANCO, I. L.; NASCIMENTO, P. V.; BONOMO, P. Comportamento ingestivo de novilhas mestiças de holandês suplementadas em pastejo de Brachiaria. Aspectos metodológicos. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 5, p. 1-10, 2004.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 659-667, 2010.

SIQUEIRA JÚNIOR, L. A. **Alterações de características do solo na implantação de um sistema de integração agricultura-pecuária leiteira**. 2005. 93f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SOUZA, B. B.; SILVA, R. M. N.; MARINHO, M. L.; SILVA, G. A.; SILVA, E. M. N.; SOUZA, A. P. Parâmetros fisiológicos e índice de tolerância ao calor de bovinos da raça Sindi no Semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p.883-888, 2007.

SOUZA, B. B.; BATISTA, N. L. Os efeitos do estresse térmico sobre a fisiologia animal. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, v. 8, p. 06-10, 2012.

SOUZA, B. B.; SILVA, I. J. O.; MELLACE, E. M.; SANTOS, R. F. S.; ZOTTI, C. A. Avaliação do ambiente físico promovido pelo sombreamento sobre o processo termorregulatório em Novilhas leiteiras. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 6, p. 59–65, 2010.

SOUZA, Z. M.; SILVA, M. L. S.; GUIMARÃES, D. T. S.; CARVALHO, M. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Latossolo Vermelho distrófico sob semeadura direta em Selvíria (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 699-707, 2001.

SOILSURVEY STAFF. **Soil Survey Manual**. Washington: Usda- Scs. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437p.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S. TOMM, G. O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 129-136, 2009.

TAVARES, U. E.; MONTENEGRO, A. A. A.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. S. S.; VICENTE, T. F. S.; ANDRADE, C. W. L. Variabilidade espacial da resistência à penetração e da umidade do solo em Neossolo Flúvico. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 3, p.79-89, 2014.

THUROW, J. M.; NABINGER, C.; CASTILHOS, Z. M. S. Estrutura da vegetação e comportamento ingestivo de novilhos em pastagem natural do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 5, p. 818-826, 2009.

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

TITTO, C. G. **Comportamento de touros da raça simental a pasto com recurso de sombra e tolerância ao calor**. 2006. 55f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006.

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

VALE, C. B.; MACEDO, M. C. M.; EUCLIDES, V. P. B.; JANK, L.; RESENDE, R. M. S. Gênero *Brachiaria*. In FONSECA, D. M.; MARTUSCELLO, J. A. **Plantas Forrageiras**. Viçosa, MG: Ed. UFV, Cap. 2, 2010. p. 30-77.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo: In NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-55, 2000.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Spatial variability of field-measured infiltration rate. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, p. 1040-1048, 1981.

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

VITO, E. S. **PECUÁRIA DE PRECISÃO**. 2010. 23f. Projeto de pesquisa (Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

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

ZANINE A. M, SANTOS E. M,; PARENTE H. N, FERREIRA D. J, CECON P. R. Comportamento ingestivo de bezerros em pastos de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria decumbens*. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1540-1545, 2006.

ZANINE, A. M.; VIEIRA, B. R.; DE JESUS FERREIRA, D.; VIEIRA, A. J. M.; DE PAULA LANA, R.; CECON, P. R. Comportamento ingestivo de diversas categorias de bovinos da raça Girolanda, em pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da Unipar**, v. 11, n. 1, 2008.

## **CAPÍTULO II: VARIABILIDADE ESPACIAL DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DA INTENSIDADE DE PISOTEIO BOVINOS**

### **RESUMO**

Os solos de áreas sob pastejo sofrem alterações físicas, de maior ou menor intensidade, pela ação do pisoteio dos animais. Assim objetivou-se com esse estudo avaliar a dependência espacial dos atributos físicos do solo sob pisoteio de bovinos. O estudo foi conduzido na Fazenda Roçadinho, no município de Capoeiras, localizada região Agreste do estado de Pernambuco. Foram realizadas coletas, antes e após período de pastejo, em solo sob pastagem de *Brachiaria*, no intervalo de 21 dias, numa área com dimensões de 40 x 40 m, na qual utilizou-se malha regular 6 x 6 m totalizando 36 pontos de amostragem. A área foi manejada em sistema de pastejo contínuo de bovinos leiteiros e taxa de lotação média de 12 UA/ha. Em cada ponto determinou-se a densidade, porosidade total, resistência à penetração do solo nas profundidades de 0,00-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m e a condutividade hidráulica do solo saturado na superfície do solo. As amostragens foram realizadas antes e após o período de pastejo. Os dados obtidos foram submetidos à análise de estatística descritiva e geoestatística. A distribuição normal foi verificada em todas as variáveis em estudo. As variáveis obtiveram classificação do coeficiente de variação entre baixa e alta variabilidade. Os atributos físicos do solo em estudo apresentaram dependência espacial forte para o período que antecedeu e após o pastejo.

**Palavras Chave:** geoestatística, krigagem ordinária, qualidade física do solo

## **ABSTRACT**

The soils of grazing areas undergo physical alterations, to a greater or lesser degree, by the trampling of the animals. Thus, the aim of this study was to evaluate the spatial dependence of soil physical attributes under cattle trampling. The study was conducted at Fazenda Roçadinho, in the municipality of Capoeiras, located in the Agreste region of the state of Pernambuco. Before and after the grazing period, samples were collected in Brachiaria pasture soil, in a 21-day interval, in an area with dimensions of 40 x 40 m, in which a regular 6 x 6 m mesh was used, totaling 36 sampling points. The area was managed in a continuous grazing system of dairy cattle and an average stocking rate of 12 AU / ha. At each point the density, total porosity and soil penetration resistance were determined at depths of 0.00-0.10; 0.10-0.20 and 0.20-0.30 m and the hydraulic conductivity of the soil saturated at the soil surface. Samples were taken before and after the grazing period. The data were submitted to the analysis of descriptive statistics and geostatistics. The normal distribution was verified in all study variables. The variables obtained classification of the coefficient of variation between low and high variability. The physical attributes of the soil under study presented strong spatial dependence for the period before and after grazing.

**Keywords:** geostatistics, ordinary kriging, soil physical quality

## INTRODUÇÃO

A pecuária leiteira apresenta grande importância econômica para o Agreste pernambucano, assim as pastagens ocupam parte significativa dessa região. Estudos sobre o tema são de fundamental importância no auxílio de tomada de decisões pelos pecuaristas.

De acordo com a diversidade de solos e suas características físicas, químicas, biológicas, mineralógicas e morfológicas, além do relevo, pedregosidade e clima, estes respondem diferentemente em cada caso ao manejo, tráfego de máquinas e pisoteio de animais (REICHERT et al., 2010).

Segundo Spera et al. (2010), é possível afirmar que os solos de áreas sob pastejo sofrem alterações físicas, de maior ou menor intensidade, pela ação do pisoteio dos animais. Diferentes atributos do solo têm sido empregados para caracterizar as modificações físicas resultantes da sua compactação, causadas quase sempre pela pressão exercida pelo tráfego das máquinas agrícolas, pelo pisoteio dos animais ou, ainda, pelos diferentes sistemas de preparo e manejo. Os parâmetros utilizados comumente são a densidade e a porosidade do solo (CARVALHO et al., 2014), a resistência do solo à penetração (TAVARES et al., 2014) e a infiltração de água (ROMEIRO et al., 2014).

A compactação está relacionada com o estado inicial, tipo e conteúdo de água presente no solo (SECCO et al., 2009). A compactação provocada pelo pisoteio animal altera as propriedades físicas pelo efeito repetitivo e cumulativo, do pisoteio sobre o solo (CAPURRO et al., 2014). De acordo com Vizzotto et al. (2000) em um Planossolo de várzea, o pisoteio animal ocasionou aumento da densidade e redução da porosidade total do solo, especialmente na camada superficial.

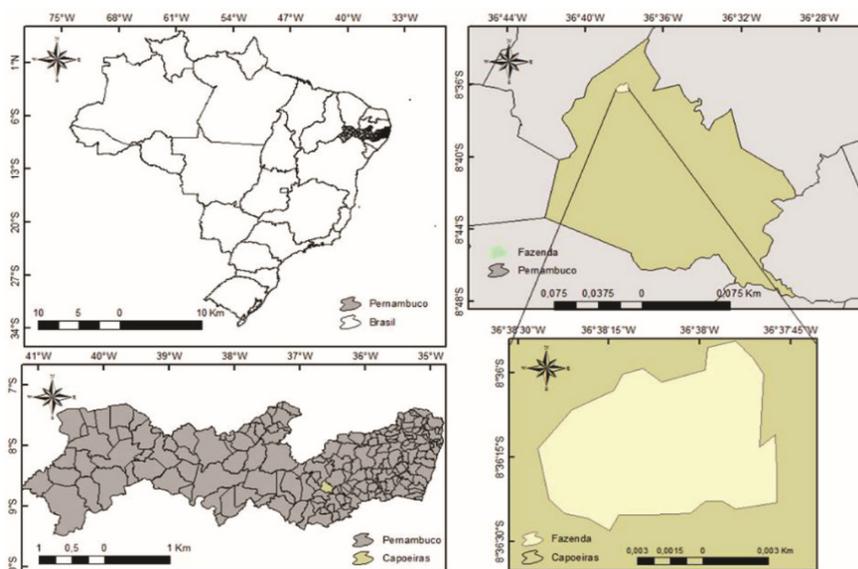
A infiltração de água no solo pode ser considerada como um indicador da qualidade física por integrar fatores que diretamente afetam o desenvolvimento das plantas (JOSÉ et al., 2012). De acordo com Miguel et al. (2009) a intensidade do pisoteio de animais em áreas de pastagem pode alterar a infiltração de água no solo.

A análise geoestatística compõe uma ferramenta importante na análise e descrição da variabilidade das propriedades do solo, o uso de métodos geoestatísticos colabora para mostrar que o manejo escolhido influencia de forma diferente a variabilidade espacial dos atributos do solo (SILVA et al., 2008).

O pastejo contínuo de bovinos, pode modificar a estrutura física do solo ao longo do tempo. Neste aspecto, objetivou-se avaliar a dependência espacial da resistência à penetração, umidade, densidade, porosidade e condutividade hidráulica do solo, em área sob pastagem no Agreste pernambucano.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em uma propriedade comercial de criação de bovinos de leite, Fazenda Roçadinho, no município de Capoeiras, localizada na Microrregião do Vale do Ipojuca, Mesorregião Agreste do estado de Pernambuco, latitude de 8° 36'S, longitude de 36° 37'W e altitude de 850 m (Figura 1). De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como semiárido (Bsh). A precipitação pluviométrica média anual da região é de 588 mm. O solo do local foi classificado como Planossolo de acordo com o Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE (2001). A caracterização do solo foi realizada no Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos UFRPE, de acordo com os métodos descritos pela EMBRAPA (2011) Tabela 1.



**Figura 1.** Local da área de estudo localizada no município de Capoeiras, Pernambuco, Brasil.

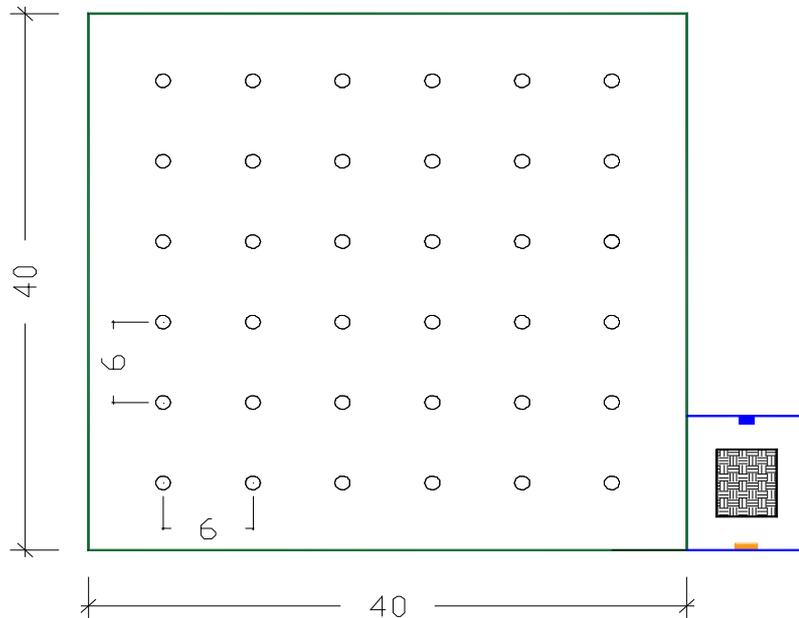
**Tabela 1.** Característica do solo.

Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ )	$^1\text{Dp}$ ( $\text{kg dm}^{-3}$ )	$^2\text{MO}$ ( $\text{g kg}^{-1}$ )
817,82	178,78	4,00	2,64	39,57

$^1$ Densidade de partículas;  $^2$ Materia orgânica.

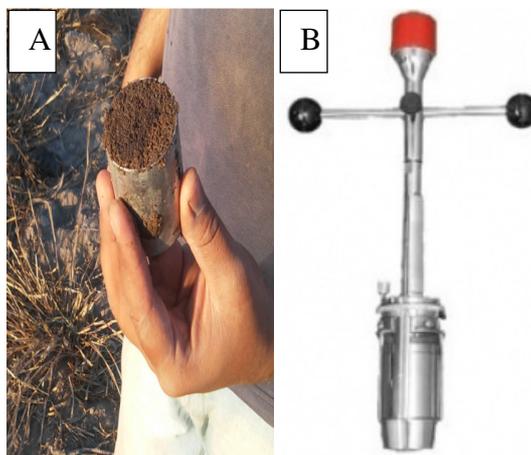
O estudo foi realizado em solo sob pastagem de *Brachiaria decumbens*, no período 16/10 à 05/11/2016 totalizando um intervalo de 21 dias, numa área com dimensões de 40 x 40 m, na qual utilizou-se malha regular 6 x 6 totalizando 36 pontos de amostragem, com 5 m de bordadura, com área de descanso para os animais anexa ao campo de pastagem, medindo 8 x 10 m, contendo bebedouro, e aérea de sombra com aproximadamente 15 m<sup>2</sup>. O solo da área foi preparado com gradagem aradora antes do plantio.

A área foi manejada em sistema de pastejo contínuo, havendo bovinos leiteiros e taxa de lotação média de 12 unidade animal por hectare. Os animais utilizados foram novilhas com peso médio de 300 kg da raça Girolando, que iniciaram o período de pastejo com o pasto apresentando altura média 90 cm, sendo finalizado com altura média de 20 cm.



**Figura 2.** Croqui da área de pastagem (—); pontos de amostragens (○); área de descanso para os animais (—); área de sombra (■).

Em cada ponto determinou-se a resistência à penetração, a umidade, a densidade e a porosidade total do solo, nas profundidades de 0,0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, além da condutividade hidráulica em solo saturado na superfície do solo. Na qual, as amostragens foram realizadas antes e após o período de pastejo. Para coleta indeformada (Figura 3A) de solo utilizou-se um amostrador do tipo Uhland (Figura 3B).



**Figura 3.** Amostrador do tipo Uhland (A); Amostra indeformada (B).

A densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada pelo método do anel volumétrico (Eq. 1), relacionando a massa de solo seca a 105 °C a um volume conhecido do anel de extração.

$$D_s = \frac{a}{b} \quad (1)$$

Em que:

$D_s$  - Densidade do solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ );

$a$  - Massa da amostra seca a 105°C (kg);

$b$  - Volume do anel ou cilindro ( $\text{dm}^3$ ).

A porosidade total (PT) foi calculada conforme Eq. 2 nas três profundidades amostradas.

$$PT = \left( \frac{a-b}{a} \right) \quad (2)$$

Em que:

PT - Porosidade total;

$a$  - Densidade de partícula ( $\text{kg dm}^{-3}$ );

$b$  - Densidade de solo ( $\text{kg dm}^{-3}$ ).

Para determinação da resistência do solo à penetração (RP) foi utilizado um penetrômetro de impacto reduzido, modelo IAA/Planalsucar/Stolf (Figura 4A). Com o número de impactos  $\text{dm}^{-1}$  (Figura 4B) transformado em resistência dinâmica (MPa) por meio da Eq.3 proposta por Stolf (1991).

$$RP = \frac{M + m + \left( \frac{M}{M+m} \times \frac{M \times h}{X} \right)}{A} \quad (3)$$

Em que:

RP - Resistência do solo à penetração,  $\text{kgf cm}^{-2}$  ( $\text{kgf cm}^{-2} \times 0,098 = \text{MPa}$ );

$M$  - 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  $\text{cm}^2$ .



**Figura 4.** Penetrômetro de impacto reduzido (A); Realização do método, contagem do número de impactos (B).

Na Tabela 2 são apresentadas as classes de RP adaptadas do Soil Survey Staff (1993).

**Tabela 2.** Classes da resistência à penetração.

Classes	RP <sup>1</sup> (Mpa)
Baixa	<0,1
Moderada	0,1 – 2,0
Alta	2,0 – 4,0
Muito Alta	4,0 – 8,0
Extremamente Alta	>8,0

<sup>1</sup>Resistencia a penetração do solo.

Para caracterização da infiltração de água no solo foi utilizado o método de Beerkan, que baseia-se, principalmente, em ensaios de infiltração simplificados e na análise da distribuição dos tamanhos das partículas do solo (HAVERKAMP et al., 1994). Em que, inicialmente, se limpa o terreno para evitar possíveis distorções nas leituras, crava-se o cilindro (150 mm) na superfície do solo à uma profundidade de aproximadamente 1 cm para prevenir perdas laterais de água durante o processo de infiltração (Figura 5A). Em seguida são preparados quinze volumes com 150 ml de água, que são vertidos no cilindro. O primeiro volume é vertido no cilindro e imediatamente após o esvaziamento do cilindro, outro volume de água é despejado em seu interior (Figura 5B), anotando-se sempre o tempo que cada volume leva para infiltrar no solo, as leituras cessam quando a velocidade de infiltração tende a ser constante ou após o esvaziamento do decimo quinto volume (HAVERKAMP et al., 1994). Para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado é utilizada a metodologia desenvolvida por Bagarello et al. (2012) Eq.4.

$$K_0 = \frac{b}{0,467 \left( \frac{2,92}{r \alpha} + 1 \right)} \quad (4)$$

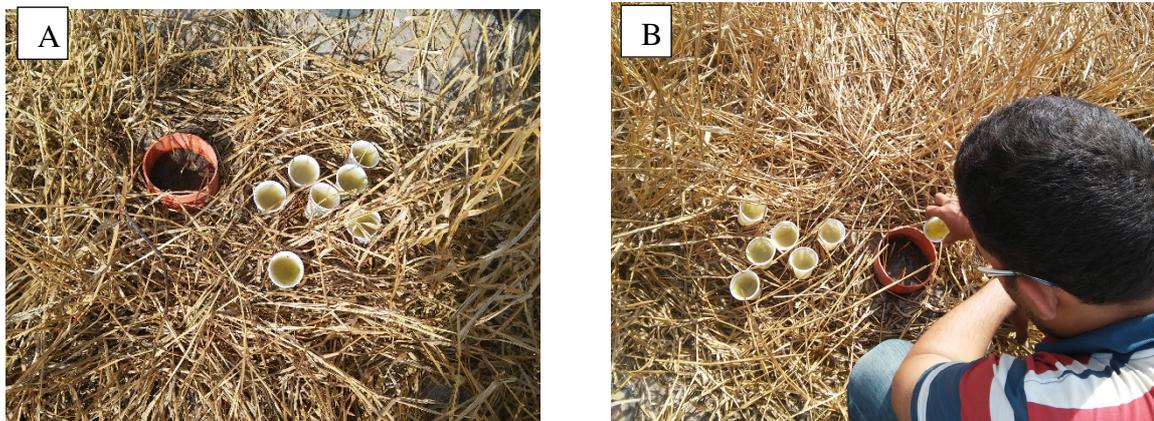
Em que:

$K_0$  - Condutividade hidráulica em solo saturado,  $\text{mm s}^{-1}$ ;

$b$  - Coeficiente angular da reta da equação linearizada da função de infiltração acumulada com o tempo;

$r$  - Raio do anel, de 75 mm;

$\alpha$  - Foi adotado 0,012, conforme sugerido por Reynolds et al. (2002), para utilização de prática de permeâmetros e infiltrômetros em solos que variam de areias grossas a argilas compactadas.



**Figura 5.** Cilindro (150 mm) cravado no solo (A); Despejo do volume (150 ml) no cilindro.

Os dados de propriedades físicas do solo obtidos no campo foram submetidos à estatística descritiva, sendo calculados a média, mediana, o coeficiente de variação, o coeficiente de assimetria e o coeficiente de curtose. A hipótese de normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Para verificar a variabilidade espacial das variáveis ao longo do tempo, os resultados foram analisados por meio de métodos geoestatísticos de análise de semivariogramas (VIEIRA, 2000). A autocorrelação espacial entre locais vizinhos foi calculada por meio da semivariância  $\gamma(h)$ , estimada pela Eq. 5:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (5)$$

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, 2004). A escolha do melhor modelo ajustado aos

semivariogramas baseou-se no coeficiente de determinação ( $R^2$ ). 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 são constituídas de acordo com as classes adaptadas do Soil Survey Staff (1993) descritas na Tabela 2.

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

O grau de variabilidade dos parâmetros foi analisado a partir do coeficiente de variação, com base na classificação proposta por Warrick & 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.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da estatística descritiva obtidos antes e após o período de pastejo estão apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

**Tabela 3.** Parâmetros estatísticos descritivos, relativos aos atributos físicos do solo nas camadas 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3m, antes do período de pastejo.

VARIÁVEIS	UNIDADE	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MEDIANA	<sup>1</sup> DP	<sup>2</sup> CV(%)	ASSIMETRIA	CURTOSE	<sup>3</sup> D
<b>0,00 – 0,10 (m)</b>										
RP	(MPa)	0,549	3,462	1,313	0,872	0,896	68,3	1,247	0,095	0,226*
Ug	(%)	6,792	17,535	13,431	14,067	2,908	21,7	-0,294	-0,952	0,107*
Ds	(kg dm <sup>-3</sup> )	1,495	1,853	1,659	1,642	0,080	4,8	0,215	-0,405	0,095*
PT	(%)	32,853	42,716	37,476	37,954	2,679	7,1	-0,070	-0,847	0,105*
<b>0,10 – 0,20 (m)</b>										
RP	(MPa)	0,872	7,671	3,813	3,462	2,035	53,4	0,304	-0,974	0,120*
Ug	(%)	4,930	15,940	10,391	11,036	3,333	32,0	0,025	-1,156	0,06*
Ds	(kg dm <sup>-3</sup> )	1,408	1,877	1,673	1,702	0,135	8,1	-0,385	0,892	0,082*
PT	(%)	29,224	46,904	37,008	37,040	5,313	14,4	0,266	-1,033	0,064*
<b>0,20 – 0,30 (m)</b>										
RP	(MPa)	3,462	10,584	6,403	6,399	2,611	40,8	0,146	-0,103	0,193*
Ug	(%)	5,596	14,097	9,556	9,549	1,905	19,9	0,437	0,188	0,134*
Ds	(kg dm <sup>-3</sup> )	1,310	1,940	1,615	1,652	0,169	10,5	-0,074	-1,064	0,189*
PT	(%)	29,793	52,484	39,515	38,627	6,104	15,4	0,342	-0,888	0,175*
<b>CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM SOLO SATURADO</b>										
K <sub>0</sub>	(mm s <sup>-1</sup> )	0,007	0,041	0,020	0,019	0,009	44,7	0,771	0,155	0,200*

RP: Resistência a penetração; Ug: Umidade do solo; Ds: Densidade do Solo; PT: Porosidade total; K<sub>0</sub>: Condutividade Hidráulica do solo. (<sup>1</sup>DP) Desvio Padrão; (<sup>2</sup>CV) Coeficiente de Variação; (<sup>3</sup>D) Normalidade por K-S \*Significativo a 5%.

A proximidade dos valores de média e mediana indica distribuição simétrica. Segundo Cambardella et al. (1994), os valores da média sendo próximos daqueles da mediana é um indicativo de que as medidas de tendência central são dominadas por valores típicos na distribuição. De acordo com o teste de Kolmogorov-Smirnov verificou-se distribuição normal para todas as variáveis estudadas. Os coeficientes de assimetria e curtose indicam se a distribuição dos dados de uma variável está próxima à distribuição normal, quando os coeficientes estão próximos ou iguais à zero (CAMPOS et al., 2012).

De acordo com o coeficiente de variação (Tabela 3), segundo Warrick & Nielsen (1980), a Ds apresentou baixa variabilidade em ambas as camadas e a PT baixa variabilidade na camada 0,0-0,10 m, corroborando Ribeiro et al. (2016). A RP (0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m), Ug em ambas as camadas, PT (0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m) e K<sub>0</sub> obtiveram média variabilidade. A RP (0,0-10 m) obteve alta variabilidade, corroborando Mion et al. (2012).

**Tabela 4.** Parâmetros estatísticos descritivos, relativos aos atributos físicos nas camadas 0-0,1; 0,1-0,2 e 0,2-0,3m, no período após o pastejo.

VARIÁVEIS	UNIDADE	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	MEDIANA	<sup>1</sup> DP	<sup>2</sup> CV(%)	ASSIMETRIA	CURTOSE	<sup>3</sup> D
<b>0,0 – 0,10 (m)</b>										
RP	(MPa)	0,872	6,052	2,356	2,167	1,234	52,4	0,978	0,035	0,102*
Ug	(%)	7,606	22,034	15,481	16,289	3,316	21,4	-0,468	-0,174	0,143*
Ds	(kg dm <sup>-3</sup> )	1,556	1,784	1,667	1,674	0,065	3,9	-0,127	-0,970	0,080*
PT	(%)	32,519	39,869	36,377	36,347	2,156	5,9	-0,070	-0,779	0,085*
<b>0,10 – 0,20 (m)</b>										
RP	(MPa)	2,167	9,937	5,926	5,243	2,587	43,6	0,956	-0,165	0,147*
Ug	(%)	5,222	17,827	10,892	10,641	3,003	27,6	0,325	0,416	0,075*
Ds	(kg dm <sup>-3</sup> )	1,514	1,897	1,723	1,747	0,091	5,3	-0,639	-0,120	0,057*
PT	(%)	28,234	43,571	34,917	34,307	3,573	10,2	0,669	0,081	0,166*
<b>0,20 – 0,30 (m)</b>										
RP	(MPa)	5,081	11,555	8,290	8,318	1,823	22,0	0,212	-0,769	0,226*
Ug	(%)	9,000	17,032	13,022	13,121	1,909	14,7	-0,319	0,241	0,076*
Ds	(kg dm <sup>-3</sup> )	1,367	1,901	1,634	1,637	0,127	7,8	0,095	-0,513	0,097*
PT	(%)	28,212	45,292	37,872	37,044	4,693	11,9	-0,277	-0,957	0,107*
<b>CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA EM SOLO SATURADO</b>										
K <sub>0</sub>	(mm s <sup>-1</sup> )	0,004	0,017	0,010	0,009	0,003	33,5	0,276	-0,259	0,050*

RP: Resistência a penetração; Ug: Umidade do solo; Ds: Densidade do Solo; PT: Porosidade total; K<sub>0</sub>: Condutividade Hidráulica do solo. (<sup>1</sup>DP) Desvio Padrão; (<sup>2</sup>CV) Coeficiente de Variação; (<sup>3</sup>D) Normalidade por K-S \*Significativo a 5%.

Conforme apresentado na Tabela 4, verifica-se que a Ds e PT apresentaram baixa variabilidade em ambas as profundidades estudadas, corroborando Guimarães et al. (2016). A RP, Ug e K<sub>0</sub> apresentaram média variabilidade. Em estudo realizado no Agreste pernambucano Tavares et al. (2014) encontraram CV baixo para a umidade do solo e médio para a resistência do solo a penetração. De acordo com Santos et al. (2012) a baixa variabilidade demonstra uma menor heterogeneidade do atributo para a área de estudo, enquanto a média variabilidade decorre do uso e manejo do solo com implementos agrícolas, e também de processos geomorfológicos, que propiciam uma homogeneização maior das percentagens de areia e argila, já a alta variabilidade, evidência elevada heterogeneidade do solo no campo estudado.

A RP apresentou médias que podem ser classificadas (Tabela 3) como moderada, alta e muito alta, no período que antecede o pastejo; E alta, muito alta e extremamente alta, após o pastejo (Tabela 4), respectivamente nas camadas 0,0–0,1; 0,1–0,2; 0,2–0,3 m. Resultados semelhantes foram encontrados por Lima et al. (2009), que em área utilizada há mais de 6 anos com pastejo extensivo, obtiveram RP muito alta na camada 0,0-0,2 m; E a Torres et al. (2012), que avaliando a RP em área de pastagem consideraram a RP muito alta ao analisar 6 camadas de solo (0,0 a 0,6 m). De acordo com Silveira et al. (2010) valores entre 2 e 2,5 MPa

têm sido indicados como os limites críticos de resistência do solo à penetração para a maioria dos vegetais.

A Ds apresentou médias acima de  $1,6 \text{ kg dm}^{-3}$ , segundo Reinert et al. (2003) valores de densidade de  $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$  para solos arenosos tem alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular. Em área de pastejo convencional a mais de 10 anos, Guimarães et al. (2016) obtiveram Ds de  $1,27 \text{ kg dm}^{-3}$ . O aumento da Ds, principalmente nas primeiras camadas, pode estar relacionado com a alta intensidade de pisoteio dos bovinos e consequente degradação da pastagem. Conforme Bertol et al. (2000) a Ds é normalmente alterada pelo pisoteio de bovinos e degradação do solo, especialmente na camada 0,0-0,10 m.

As médias de porosidade total e condutividade hidráulica do solo reduziram (2,93%; 5,65%; 4,16% e 50,00%), respectivamente, após o período de pastejo, esses fatores podem estar diretamente ligados ao aumento da RP e Ds. Os resultados de PT encontrados nesse estudo corroboram Lanzanova et al. (2007), que analisando a porosidade total em solo sob pastejo ( $4 \text{ UA ha}^{-1}$ ), observaram que PT reduziu 18% na camada 0,0-0,05 m e 7% na camada 0,05-0,10 m, após 14 dias de pastejo, atribuído o decréscimo a pressão exercida sobre o solo pelos animais. Reforçam também Oliveira Júnior et al. (2014), que estudando as propriedades hidrodinâmicas de um Neossolo Regolítico sob pastagem e caatinga, encontraram médias de  $K_0$  de  $0,063 \text{ mm s}^{-1}$  para pastagem e  $0,125 \text{ mm s}^{-1}$  na área de caatinga, conforme o autor o manejo do solo com pastagem alterou significativamente a condutividade hidráulica saturada, que foi afetada pelo pisoteio dos animais.

Todos os semivariogramas das variáveis em estudo, ajustaram-se ao modelo esférico (Tabelas 5 e 6). Esse modelo tem sido o mais utilizado para descrever a variabilidade dos atributos do solo (CAMBARDELLA et al., 1994; RIBEIRO et al., 2016).

Após análise geoestatística realizada por meio de semivariogramas foi constatado que a PT nas profundidades 0,10–0,20 e 0,20–0,30 m, após período de pastejo, não apresentou dependência espacial (Tabela 6). Assim, a variabilidade dessas variáveis pode ser considerada como aleatória e seria necessário um espaçamento menor na grade de amostragem para detectar dependência espacial dessas variáveis Cambardella et al. (1994), corroborando Guimarães et al. (2016) que encontram efeito pepita puro para a PT nas profundidades 0,10 e 0,15 m utilizando espaçamento  $10 \times 10 \text{ m}$ , em estudo variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens.

**Tabela 5.** Parâmetros dos modelos de semivariograma e grau de dependência espacial (GDE), antes do período de pastejo.

ATRIBUTOS	MODELO	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	A	GDE %	R <sup>2</sup>
<b>0,0 – 0,10 (m)</b>						
<b>RP</b>	Esférico	0,039	0,822	11,280	4,750	0,821
<b>Ds</b>	Esférico	0,00034	0,00443	8,740	7,675	0,599
<b>PT</b>	Esférico	0,230	6,909	8,790	3,329	0,839
<b>0,10 – 0,20 (m)</b>						
<b>RP</b>	Esférico	0,290	3,071	11,770	9,443	0,893
<b>Ds</b>	Esférico	0,00057	0,005	11,120	11,400	0,818
<b>PT</b>	Esférico	0,700	26,590	8,200	2,635	0,681
<b>0,20 – 0,30 (m)</b>						
<b>RP</b>	Esférico	0,190	7,020	8,570	2,700	0,580
<b>Ds</b>	Esférico	0,00310	0,059	12,440	5,29	0,996
<b>PT</b>	Esférico	0,718	38,633	16,990	1,858	0,969
<b>CONDUTIVIDADE HIDRAULICA DO SOLO SATURADO</b>						
<b>K<sub>0</sub></b>	Esférico	0,000001	0,00022	11,69	0,454	0,987

C<sub>0</sub>: Efeito Pepita; C<sub>0</sub>+C: Patamar; A: Alcance; GDE: Grau de Dependência Espacial (%); R<sup>2</sup>: Ajuste do semivariograma.

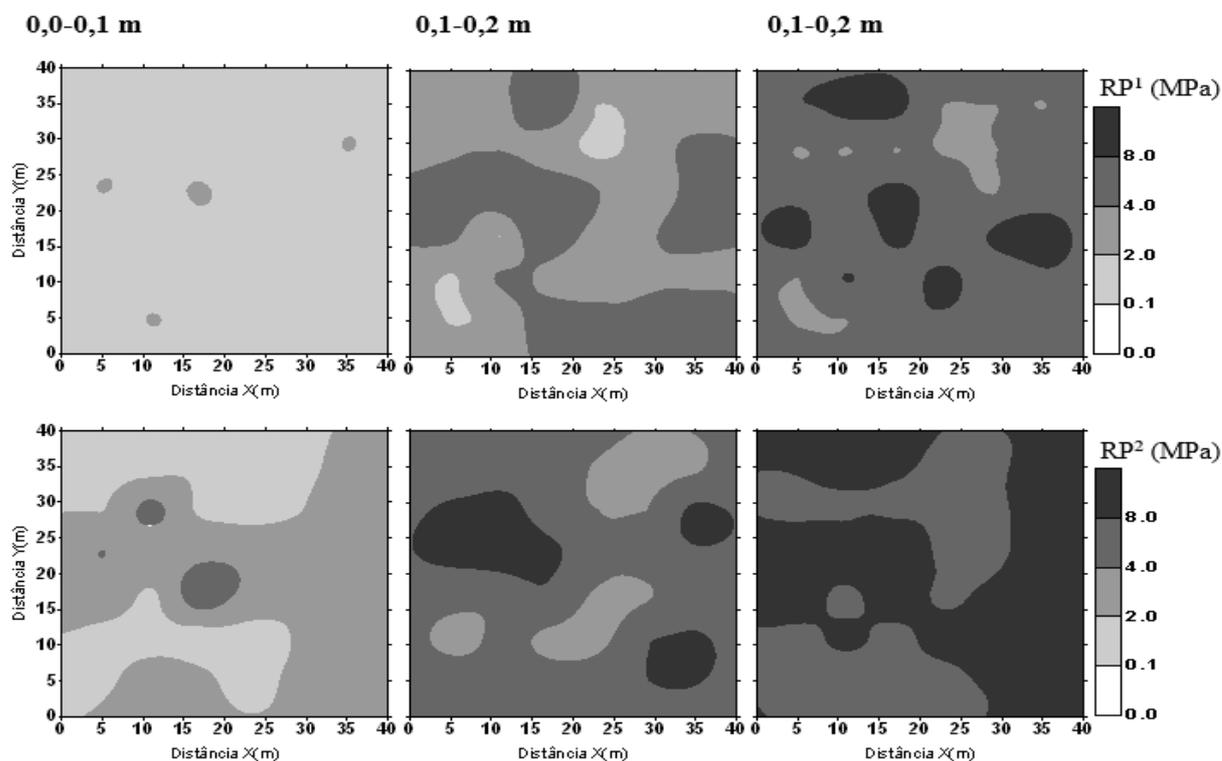
O grau de dependência espacial (GDE) foi classificado como forte para todas as variáveis analisadas. Os resultados de GDE corroboram Carvalho et al. (2011) em estudo de atributos físicos do solo.

**Tabela 6.** Parâmetros dos modelos de semivariograma e grau de dependência espacial (GDE), após pastejo.

ATRIBUTOS	MODELO	C <sub>0</sub>	C <sub>0</sub> +C	A	GDE %	R <sup>2</sup>
<b>0,0 – 0,10 (m)</b>						
<b>RP</b>	Esférico	0,276	1,805	9,560	15,300	0,904
<b>Ds</b>	Esférico	0,00004	0,002	8,950	2,000	0,998
<b>PT</b>	Esférico	0,112	2,371	11,180	4,728	0,890
<b>0,10 – 0,20 (m)</b>						
<b>RP</b>	Esférico	0,010	7,625	13,920	0,131	0,984
<b>Ds</b>	Esférico	0,00009	0,003	8,720	3,000	0,523
<b>PT</b>	EPP	-	-	-	-	-
<b>0,20 – 0,30 (m)</b>						
<b>RP</b>	Esférico	0,163	3,079	12,140	5,300	0,967
<b>Ds</b>	Esférico	0,00001	0,016	8,270	0,062	0,937
<b>PT</b>	EPP	-	-	-	-	-
<b>CONDUTIVIDADE HIDRAULICA DO SOLO SATURADO</b>						
<b>K<sub>0</sub></b>	Esférico	0,000001	0,00001	9,560	10,000	0,934

C<sub>0</sub>: Efeito Pepita; C<sub>0</sub>+C: Patamar; A: Alcance; GDE: Grau de Dependência Espacial (%); R<sup>2</sup>: Ajuste do semivariograma; EPP: Efeito Pepita Puro.

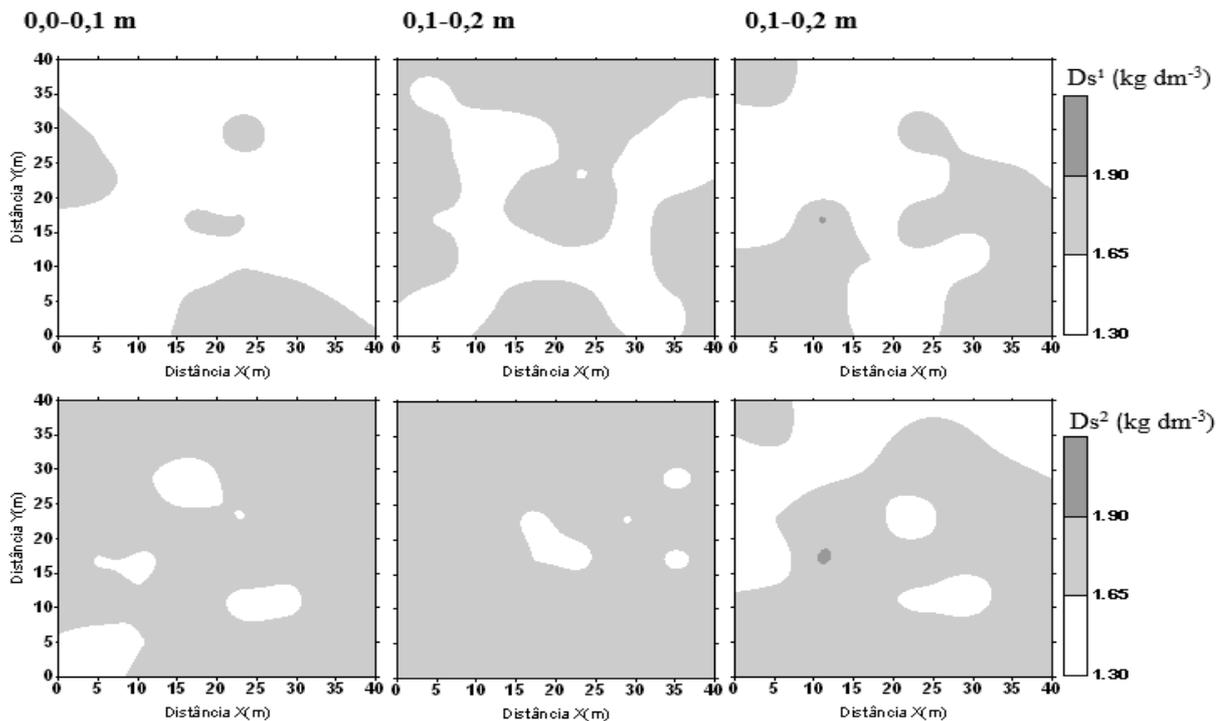
As Figuras 6, 7, 8 e 9 apresentam os mapas de krigagem dos atributos em estudo, respectivamente nos períodos de antes e após o pastejo, nas camadas analisadas.



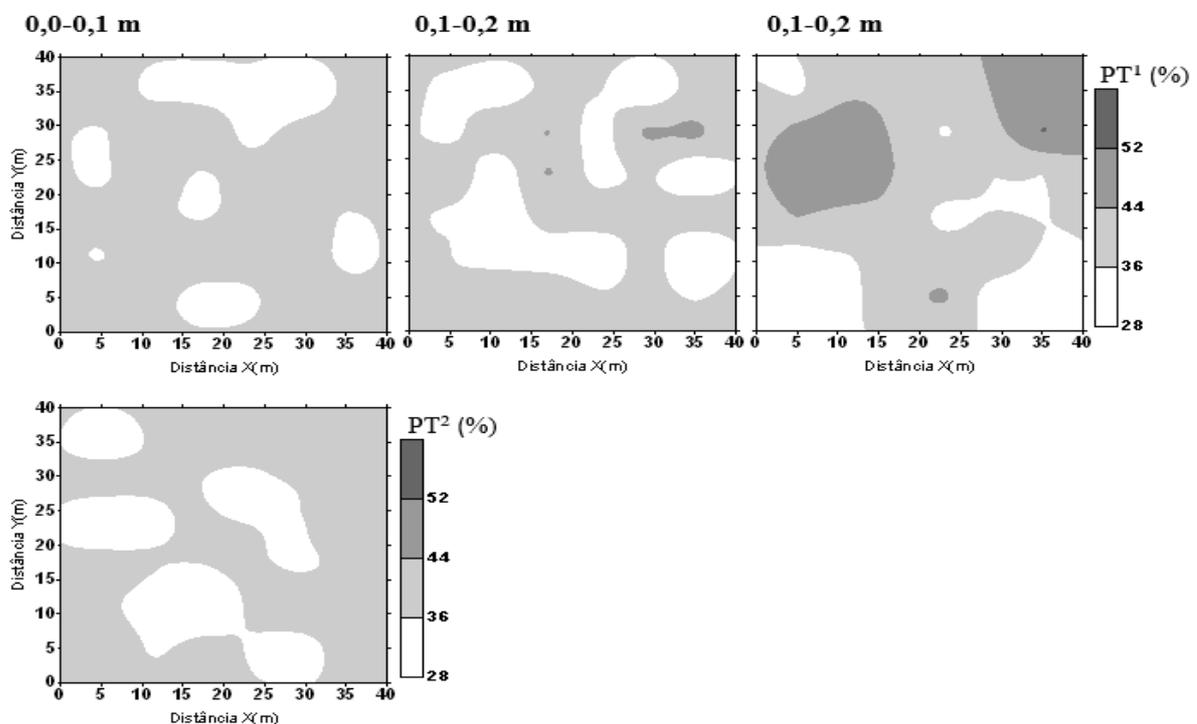
**Figura 6.** Mapas de krigagem da RP<sup>1</sup> (MPa) do período que antecedeu o pastejo e RP<sup>2</sup> (MPa) após período de pastejo.

A RP aumentou 79,40%, 55,40%, 29,50% respectivamente nas camadas 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m após o período de pastejo. Esses resultados corroboram Lanzasova et al. (2007), que avaliaram os atributos físicos do solo sob pastejo (4 UA ha<sup>-1</sup>) e obtiveram um aumento de 57%, da RP na camada 0,05 – 0,08 m, após 14 dias de pastejo. Em estudo da resistência do solo à penetração em diferentes níveis de intensificação (1,26; 5,57; 7,45; 8,23 UA ha<sup>-1</sup>) do pastejo Costa et al. (2012), constataram que a RP nas camadas de solo 0,2–0,3 e 0,3–0,4 m, com maior intensificação do pastejo apresentaram os maiores valores de resistência a penetração. De acordo com o autor em áreas de pastejo a RP costuma apresentar maiores valores na camada 0,0-0,10m, atribuindo aos seus resultados a necessidade hídrica da forragem.

Conforme Cervelati et al. (2011), esta resistência é explicada pelo fato de que em pastejo contínuo os animais permanecem durante todo o tempo no mesmo piquete, não tendo período de descanso e também pelo crescimento da gramínea ser em touceiras proporcionando áreas descobertas de solo, assim, tendo maior impacto da pressão dos cascos dos animais e conseqüentemente maior tendência a compactação, o que ficou confirmado pelo período após o pastejo, em que a resistência à penetração foi maior.



**Figura 7.** Mapas de krigagem da  $Ds^1$  ( $\text{Kg dm}^{-3}$ ) do período que antecedeu o pastejo e  $Ds^2$  ( $\text{Kg dm}^{-3}$ ) após período de pastejo.



**Figura 8.** Mapas de krigagem da  $PT^1$  (%) do período que antecedeu o pastejo e  $PT$  (%) após período de pastejo.

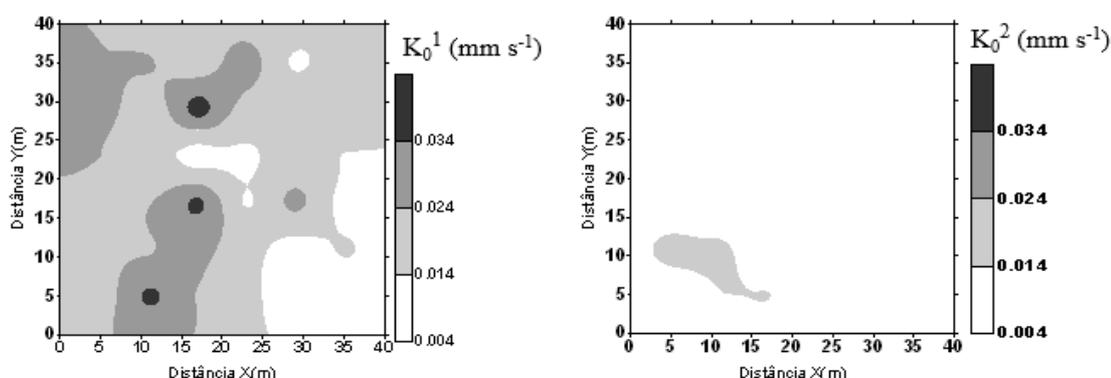
De acordo com Reinert et al. (2013), valores de densidade associados ao estado de compactação com alta probabilidade de oferecer riscos de restrição ao crescimento radicular

situam-se a  $1,65 \text{ kg dm}^{-3}$ , esse limite crítico foi observado em quase toda a área após o período de pastejo, corroborando Lima et al. (2015) que na região do Brejo Paraibano numa área de pastagem contínuo, obtiveram valores médios de Ds 1,6 e 1,5, respectivamente, para as camadas 0,0 – 0,10 e 0,10 – 0,20 m. Segundo Costa et al. (2012), a densidade do solo pode ser alterada com a pressão exercida pelo pisoteio animal, principalmente nas camadas 0–0,1 e 0,1–0,2 m.

Conforme os mapas de Krigagem a porosidade total e a condutividade hidráulica do solo decresceram com o aumento da RP e Ds, resultados que corroboram Guimarães et al. (2016). Segundo Mion et al. (2012), a porosidade total tem apresentado grande relação com a compactação, a qual tende a aumentar com a redução do espaço poroso. 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 e pelo acréscimo do escoamento superficial das águas de chuvas ou irrigação, assim podendo potencializar os processos erosivos (SOUZA et al., 2007).

Resultados semelhantes também foram encontrados por Iglesias et al. (2014) que avaliando a distribuição da porosidade do solo em áreas pisoteio bovino com diferentes sistemas de plantio, observou que a pressão exercida pelos animais reduziu a PT principalmente na camada 0,0-0,15 m.

De acordo com a (Figura 9)  $K_0$  reduziu significativamente após o período de pastejo, ocasionada principalmente pelo aumento da Ds e RP com a redução do espaço poroso, corroborando Miguel et al. (2009) que avaliando a infiltração de água em solo em função da intensidade de pisoteio, utilizando pastejo rotacionado ( $6 \text{ Ua ha}^{-1}$ ), obtiveram redução de 70 % da  $K_0$  após a décima quinta passagem do gado pelos piquetes.



**Figura 9.** Mapas de krigagem da  $K_0^1 \text{ (mm s}^{-1}\text{)}$  do período que antecedeu o pastejo e  $K_0^2 \text{ (mm s}^{-1}\text{)}$  após período de pastejo.

Os resultados encontrados podem estar relacionados com a superlotação, portanto com base nos achados esta prática pode alterar os atributos físicos do solo. Entretanto a adoção de boas práticas de manejo como a utilização de pastejo rotacionado ou até mesmo pastejo contínuo desde que apresente taxa de lotação animal compatível com a área e cobertura vegetal, pode vir a ser uma solução para tais problemas. De acordo com Fidalski et al. (2008) o pastejo não compromete a qualidade física do solo em sistema de lotação contínua, desde que apresente controle da taxa de lotação animal e manutenção da massa de forragem.

## **CONCLUSÕES**

- A resistência a penetração, umidade, densidade e a condutividade hidráulica do solo apresentaram forte dependência espacial para o período que antecedeu e após o pastejo;
- A resistência a penetração aumentou 79,40%, 55,4%, 29,4 respectivamente nas camadas 0,0-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30 m após o período de pastejo;
- Os atributos do solo foram alterados após o período de pastejo;
- A condutividade hidráulica e a porosidade total do solo diminuíram à medida que resistência a penetração e densidade do solo desempenham maior influência sobre o solo.

## REFERENCIAS

BAGARELLO, V.; D'ASARO, F.; IOVINO, M. field assessment of the simplified falling head technique to measure the saturated soil hydraulic conductivity. **Geoderma**, v. 187–188 p. 49–58, 2012.

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

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.

CAMPOS, M. C. C.; DE OLIVEIRA, I. A.; DOS SANTOS, L. A. C.; DE AQUINO, R. E.; SOARES, M. R. D. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração e umidade em áreas cultivadas com mandioca na região de Humaitá, AM. **Revista Agro@ambiente On-line**, Boa Vista, v. 6, p. 09-16, 2012.

CAPURRO, E. P. G.; SECCO, D.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Compressibility and elasticity of a Vertissol affected by the intensity of grazing cattle. **Ciência Rural**, v. 44, p. 283-288, 2014.

CARVALHO, L. A. D.; MEURER, I.; SILVA JUNIOR, C. A. D.; CAVALIERI, K.; SANTOS, C. F. Physical properties of three classes of soils cultivated with sugarcane in mechanized harvesting. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 940-949, 2011.

CARVALHO, M. A.; RUIZ, H. A.; COSTA, L. M.; PASSOS, R. R.; ARAUJO, C. A. S. Composição granulométrica, densidade e porosidade de agregados de Latossolo Vermelho sob duas coberturas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, p.1010–1016, 2014.

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

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

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

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A.; CECATO, U.; BARBERO, L. M.; LUGÃO, S. M. B.; COSTA, M. A. T. Qualidade física do solo em pastagem adubada e sob pastejo contínuo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1583-1590, 2008.

GAMMA DESIGN SOFTWARE. **GS+ Geostatistics for the Environmental Sciences**. Plainwell: Gamma Design Software, LLC, 2004. 160p.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer** for windows version 9.0. Colorado: Golden, 2010.

GREENWOOD, K. L.; MACLEOD, D. A.; HUTCHINSON, K. J. Long-term stocking rate effects on soil physical properties. **Animal Production Science**, v. 37, p. 413-419, 1997.

GUIMARÃES, W. D.; JUNIOR, J. G.; MARQUES, E. A.; SANTOS, N. T.; FERNANDES, R. B. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 247, 2016.

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.

IGLESIAS, J. O.; GALANTINI, J. A.; KRÜGER, H.; VENANZI, S. Soil pore distribution as affected by cattle trampling under no-till and reduced-till systems. **Agriscientia**, v. 31, p. 93-102, 2014.

JOSE, J. V.; REZENDE, R.; MARQUES, P. A. A.; GONÇALVES, A. C. A.; DE SOUZA, R. S. Variabilidade espacial de variáveis físico-hídricas de dois Latossolos da região noroeste do estado do Paraná. **Irriga**, v. 17, p. 208-219, 2012.

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

LIMA, F. V. D.; SILVINO, G. D. S.; MELO, R. S. D. S.; LIRA, E. C.; RIBEIRO, T. D. Spatial variability of soil physical properties in the hilly area of degradation process. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 53-63, 2015.

LIMA, J. S. D. S.; SATTTLER, M. A.; PASSOS, R. R.; OLIVEIRA, I. I.; PAULO, C.; SOUZA, G. S. D. Spatial variability of physical attributes of a red-yellow ultisol under pasture and secondary vegetation in natural regeneration. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 185-195, 2009.

MIGUEL, F. R. M.; VIEIRA, S. R.; GREGO, C. R. Spatial variability of water infiltration rate in soil under pasture as a function of cattle trampling intensity. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 1513-1519, 2009.

MION, R. L.; NASCIMENTO, E. M. S.; SALES, F. A. L.; SILVA, S. F.; DUARTE, J. M. L. SOUSA, B. M. Variabilidade espacial da porosidade total, umidade e resistência do solo à penetração de um Argissolo Amarelo. **Semina: Ciência Agrárias**, v. 33, p. 2057-2066, 2012.

MÜLLER, M. M. L.; GUIMARÃES, M. F.; DESJARDINS, T.; MITJA, D. The relationship between pasture degradation and soil properties in Brazilian Amazon. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 103, p. 279-288, 2004.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. A.; SOUZA, E. S. D.; CORREA, M. M.; LIMA, J. R. D. S.; SOUZA, R.; SILVA FILHO, L. A. D. Variabilidade espacial de propriedades hidrodinâmicas de um

Neossolo Regolítico sob pastagem e caatinga. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 631-639, 2014.

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

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SUZUKI, L.E. A.S.; HORN, R. Mecânica do solo. In: LIER, Q.J.V. Física do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2010. 298p.

REINERT, D. J.; GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, p. 1-10, 2013.

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.

RIBEIRO, L. S.; DE OLIVEIRA, I. R.; DANTAS, J. S.; DA SILVA, C. V.; DA SILVA, G. B.; DE AZEVEDO, J. R. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 1699-1702, 2016.

ROMEIRO, E. R.; BONINI, C. S. B.; NETO, A. B. Infiltração de água no solo sob diferentes usos e manejo. **X Fórum Ambiental da Alta Paulista**, Tupã, SP, v.10, p. 39-49, 2014.

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A.; ALMEIDA, B. G. D.; MONTENEGRO, S. M.; ANDRADE, T. D. S.; JÚNIOR, F. Spatial variability of physical attributes of soil in alluvial valley of semiarid region of Pernambuco State. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 828-835, 2012.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. da. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, v. 39, p. 58-64, 2009.

SILVA, J. M.; LIMA, J. S. S.; PIRES, F. R.; ASSIS, R. L. Variabilidade espacial dos atributos físicos em um latossolo sob plantio direto e preparo convencional no cultivo da soja no cerrado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 50, p. 167-180, 2008.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 659-667, 2010.

SOILSURVEY STAFF. **Soil Survey Manual**. Washington: Usda- Scs. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437p.

SOUZA, B. B.; SILVA, R. M. N.; MARINHO, M. L.; SILVA, G. A.; SILVA, E. M. N.; SOUZA, A. P. Parâmetros fisiológicos e índice de tolerância ao calor de bovinos da raça Sindi no Semi-árido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, p. 883-888, 2007.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Atributos físicos de um Hapludox em função de sistemas de produção integração lavoura-pecuária (ILP), sob plantio direto. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 32, p. 37-44, 2010.

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. 229-35, 1991.

TAVARES, U. E.; MONTENEGRO, A. A. A.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. S. S.; VICENTE, T. F. S.; ANDRADE, C. W. L. Variabilidade espacial da resistência à penetração e da umidade do solo em Neossolo Flúvico. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 3, p. 79-89, 2014.

TORRES, J. L. R., JUNIOR, D. J. R., SENE, G. A., JAIME, D. G.; DA SILVA VIEIRA, D. M. Resistência à penetração em área de pastagem de capim tifton, influenciada pelo pisoteio e irrigação. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 1, 2012.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudo de variabilidade espacial do solo: In NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R. eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 2000. p.1-55.

VIZZOTTO, V. R.; MARCHEZAN, E.; SEGABINAZZI, T. Effect of cattle trampling on lowland soil physical properties. **Ciencia Rural**, v. 30, p. 965-969, 2000.

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

ZAPE Digital - **Zoneamento Agroecológico de Pernambuco**. Recife-PE: Embrapa Solos, 2001. (Embrapa Solos. Documentos, n.35). ZAPE Digital, CD-ROM. 2001.

## **CAPÍTULO III: COMPORTAMENTO DE NOVILHAS GIROLANDO A PASTO E MONITORAMENTO ANIMAL POR MEIO DE GPS**

### **RESUMO**

Objetivou-se com esse estudo, monitorar o posicionamento de novilhas Girolando à pasto, avaliar o comportamento e a fisiologia desses animais e espacializar a variação de resistência a penetração e matéria orgânica do solo durante período de pastejo. O estudo foi conduzido em um período de 21 dias, na Fazenda Roçadinho, no município de Capoeiras, localizada na região Agreste do estado de Pernambuco. A área foi manejada em sistema de pastejo contínuo de bovinos leiteiros e taxa de lotação de 12 UA/ha. Foram registradas a temperatura de bulbo seco (°C) e a umidade relativa do ar (%), o que permitiu determinar o índice de temperatura e umidade e a entalpia ( $\text{kJ kg}^{-1}$  de ar seco). A frequência respiratória ( $\text{mov min}^{-1}$ ), temperatura retal (°C) e temperatura de pelame (°C), foram verificadas a cada três horas no período das 06h00 às 18h00 durante dois dias por semana. O monitoramento dos animais foi realizado com o auxílio de colares Arduino GPS, programados utilizando linguagem C/C++ e configurados para registrar o posicionamento dos animais na área a cada minuto, durante o período de pastejo. O comportamento dos animais em pastejo foi realizado, uma vez por semana, a partir de imagens gravadas por uma câmera e a identificação comportamental instantânea (andando, comendo, ruminando e ócio) determinado pelo método de varredura instantânea. Coletaram-se amostras deformadas na camada superficial do solo para determinação da matéria orgânica. Também se verificou a resistência do solo à penetração na camada 0,0–0,10 m, na qual se utilizou malha regular 6 x 6 m totalizando 36 pontos de amostragem. O comportamento dos animais foi determinado pelo teste qui-quadrado ( $X^2$ ). As associações das variáveis meteorológicas, fisiológicas e comportamentais foram realizadas por meio de análise multivariada e de seus componentes principais. Verificou-se maior percentual de tempo despendido com a ingestão de alimentos e ócio 34,80 e 41,20% respectivamente. A percentagem do posicionamento dos animais indicou que os mesmos se mantiveram por mais tempo nas proximidades da área de sombra, nessa região também foram encontrados altos teores de matéria orgânica e a resistência do solo a penetração apresentou valores acima de 2 MPa. A análise de componentes principais mostrou que o comportamento dos bovinos mesmo quando em condições de maior estresse térmico se adaptaram de acordo com as condições meteorológicas locais.

**Palavras Chaves:** conforto térmico animal, novilhas girolando, pecuária de precisão

## **ABSTRACT**

The objective of this study was to monitor the positioning of Girolando heifers in the pasture, to evaluate the behavior and physiology of these animals and to spatialize the variation of resistance to penetration and soil organic matter during grazing period. The study was conducted in a period of 21 days, at the Roçadinho Farm, in the municipality of Capoeiras, located in the Agreste region of the state of Pernambuco. The area was managed in continuous grazing system of dairy cattle and stocking rate of 12 AU / ha. The dry bulb temperature ( $^{\circ}$  C) and the relative humidity (%) were recorded, which allowed the determination of the temperature and humidity index and enthalpy ( $\text{kJ kg}^{-1}$  dry air). Respiratory rate ( $\text{min}^{-1}$ ), rectal temperature ( $^{\circ}$  C) and hair temperature ( $^{\circ}$  C) were checked every three hours from 06:00 a.m. to 6:00 p.m. for two days a week. The animals were monitored using Arduino GPS collars, programmed using C / C ++ language and configured to record the positioning of the animals in the area every minute during the grazing period. The behavior of grazing animals was performed once a week from images recorded by a camera and the instantaneous behavioral identification (walking, eating, ruminating and idle) determined by the instantaneous scanning method. Deformed samples were collected in the soil surface layer to determine the organic matter. The resistance of the soil to penetration in the 0.0-0.10 m layer was also verified, in which a regular 6 x 6 m mesh was used, totaling 36 sampling points. The behavior of the animals was determined by the chi-square test ( $X^2$ ). The associations of meteorological, physiological and behavioral variables were performed through multivariate analysis and its main components. There was a higher percentage of time spent with food and leisure 34,80 and 41,20%, respectively. The percentage of the positioning of the animals indicated that they remained longer in the vicinity of the shade area, in that region were also found high levels of organic matter and the soil resistance to penetration presented values above 2 MPa. The principal components analysis showed that the behavior of the cattle even when under conditions of greater thermal stress adapted according to the local meteorological conditions.

**Key words:** animal thermal comfort, girolando heifers, precision cattle breeding

## INTRODUÇÃO

Os fatores ambientais externos podem interferir no comportamento dos animais, causando impacto sobre a produção e prejuízos econômicos, principalmente na região semiárida onde as altas temperaturas podem dificultar a homeotermia e prejudicar o equilíbrio térmico dos animais.

Em ambientes de clima quente, duas estratégias podem ser utilizadas para aumentar o desempenho animal, a primeira é utilizar raças que sejam geneticamente mais adaptadas ao ambiente tropical e a segunda é alterar o ambiente a fim de reduzir o estresse térmico pelo calor (CATTELAM & VALE, 2013).

Em períodos quentes, com registro de alta temperatura ambiente, alta umidade relativa do ar e baixa velocidade do vento os bovinos utilizam alguns mecanismos, como redução no tempo de alimentação e ruminação e aumento no tempo de ócio, numa provável tentativa de diminuir a produção de calor metabólico. Além da redução da atividade de alimentação, há uma inversão dos hábitos alimentares, em regiões de temperaturas elevadas o animal altera seu padrão de pastejo evitando horários mais quentes, assim aumentando seu pastejo noturno em aproximadamente 6h30min (FERREIRA, 2010).

De acordo com Salton & Carvalho (2007), a presença dos animais nas pastagens leva à formação de manchas de vegetação e intensificação da variabilidade espacial de atributos do solo, em função da existência de locais com maior atividade biológica do solo. Isso devido à deposição de dejetos dos animais, acúmulo de material senescente, pastejo desuniforme pela seleção de plantas pelos animais e alterações dos atributos físicos do solo devido ao pisoteio dos animais.

A pecuária de precisão diz respeito a inovações tecnológicas que monitoram o animal no seu ambiente pastoril (CARVALHO et al., 2009). Tecnologias mais complexas, como, as cercas virtuais baseadas em tecnologia de sistemas embarcados e sistema de posicionamento global (*global positioning system*, GPS), procuram controlar o movimento dos animais de acordo com o interesse maior ou menor de ocupação de certas zonas na pastagem (BISHO PHURLEY et al., 2007).

O monitoramento conjunto da posição dos bovinos por GPS e da resistência do solo a penetração é uma ferramenta importante na tomada de decisões. A partir dessas informações pode-se identificar e delimitar áreas de preferência. Isto permitiu a escolha de um manejo mais preciso acerca da lotação e da utilização sustentável das pastagens. Assim, as ferramentas de monitoramento animal podem ser importantes para definir que espécies animais e categorias

podem ser utilizadas, como também a disposição espacial de sombra, saleiros, comedouros, bebedouros e outros, com o objetivo de melhorar o uso dos recursos disponíveis e promover visitas aos locais poucos frequentados na pastagem (LACA, 2008).

Autores como Lanzaova et al. (2011) e Cervelati et al. (2011) indicam que o pisoteio dos animais em áreas de pastagem podem ser uma das causas de compactação do solo. Nesse contexto, resistência do solo a penetração tem sido empregada para caracterizar as modificações físicas resultantes da compactação, causadas quase sempre pela pressão exercida pelo tráfego das máquinas agrícolas e pelo pisoteio dos animais. Valores entre 2 e 2,5 MPa têm sido indicados como os limites críticos de resistência do solo à penetração para a maioria dos vegetais (SILVEIRA et al., 2010).

Assim, objetivou-se, com esse estudo, monitorar o posicionamento de novilhas girolando à pasto, avaliar o comportamento e a fisiologia desses animais e espacializar a variação de resistência a penetração e matéria orgânica do solo durante o período de pastejo.

## MATERIAL E MÉTODOS

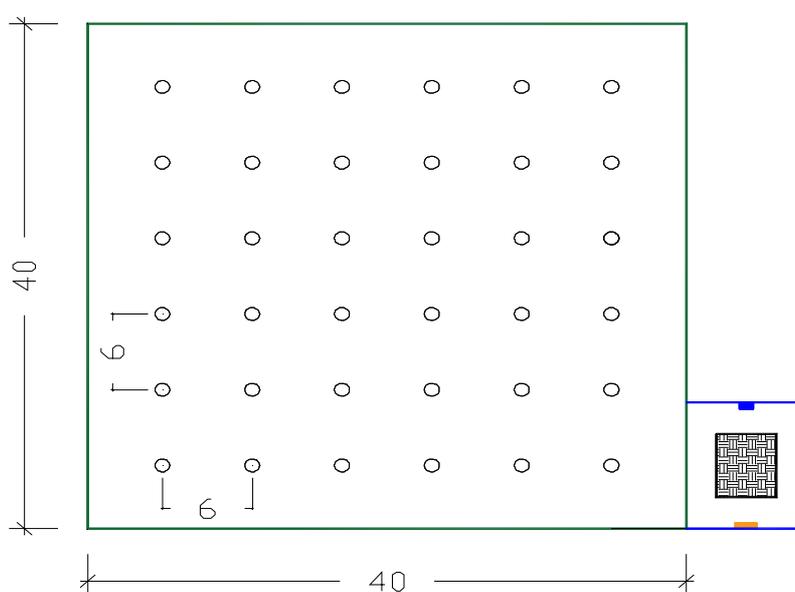
O estudo foi conduzido em uma propriedade comercial de criação de bovinos de leite, Fazenda Roçadinho, no município de Capoeiras, localizada na Microrregião do Vale do Ipojuca, Mesorregião Agreste do estado de Pernambuco, latitude de 8° 36'S, longitude de 36° 37'W e altitude de 850 m. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é caracterizado como semiárido (Bsh). A precipitação pluviométrica média anual da região é de 588 mm. O solo do local foi classificado como Planossolo de acordo com o Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE (2001). A caracterização física do solo foi realizada no Laboratório de Mecânica dos Solos e Aproveitamento de Resíduos UFRPE, de acordo com os métodos descritos pela EMBRAPA (2011) Tabela 1.

**Tabela 1:** Caracterização física do solo.

Areia ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Silte ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Argila ( $\text{g kg}^{-1}$ )	Dp <sup>1</sup> ( $\text{kg dm}^{-3}$ )	Ds <sup>1</sup> ( $\text{kg dm}^{-3}$ )
817,82	178,78	4,00	2,64	1,65

<sup>1</sup>Densidade de partículas <sup>2</sup>Densidade do solo

O estudo foi realizado em solo sob pastagem de braquiária decumbens, no período 16/10 à 05/11/2016 totalizado um intervalo de 21 dias, numa área com dimensões de 40 x 40 m, com área de descanso para os animais anexa ao campo de pastagem (Figura 1), medindo 8 x 10 m, contendo bebedouro, e aérea de sombra com aproximadamente 15 m<sup>2</sup>. O solo da área foi preparado com gradagem antes do plantio.



**Figura 1.** Croqui da área de pastagem (—); pontos de amostragens (○), área de descanso para os animais (—); área de sombra (■).

A área foi manejada em sistema de pastejo contínuo e taxa de lotação média de 12 UA/ha. Os animais utilizados foram novilhas com peso médio de 300 kg da raça Girolando, que iniciaram o período de pastejo com o pasto apresentando altura média 90 cm, sendo finalizado com altura média de 20 cm, conforme sugerido por Martha Júnior et al. (2003) .

As variáveis meteorológicas, temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ , °C) e umidade relativa do ar (UR, %) foram registradas a cada quinze minutos, na área de descanso dos animais e em abrigo meteorológico, por meio de *datalogger* modelo Hobo (Figura 2) U12-12 (Onset Computer Corporation Bourne, MA, USA). Os sensores foram fixados no centro da área de descanso, a uma altura de 2,00 m e no abrigo meteorológico instalado, a 1,50 m do solo.



**Figura 2.** Datalogger utilizado para registro das variáveis ambientais (A); registradores instalados no interior da área de descanso (B).

Com o registro das variáveis meteorológicas foi determinado o índice de temperatura e umidade ITU Eq. 1, proposto por Thom (1959) e a entalpia específica  $h$  ( $\text{kJ kg}^{-1}$  de ar seco) sugerida por Rodrigues et al. (2010) por meio da Eq. 2.

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

em que:

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

$T_{po}$  - Temperatura de ponto de orvalho, °C.

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

em que:

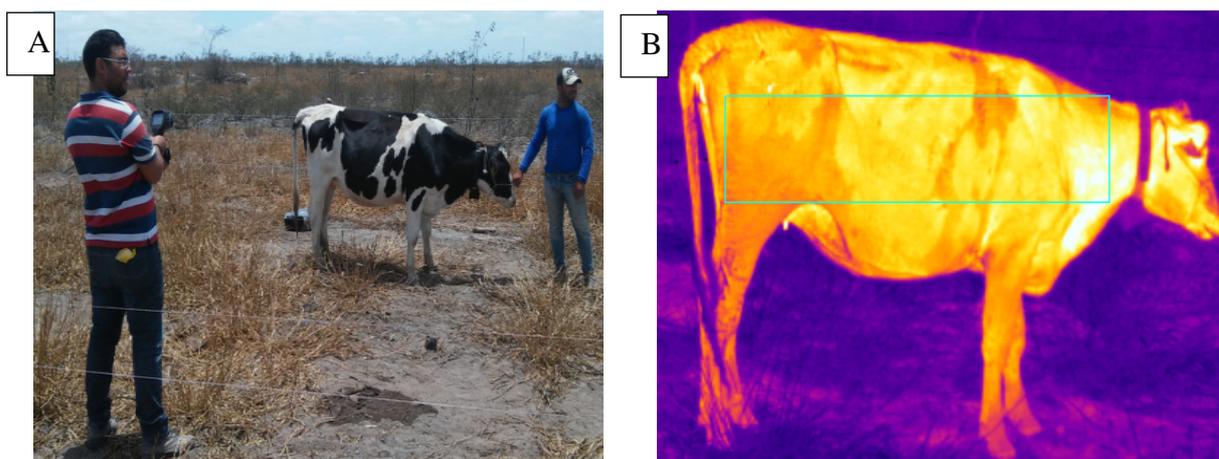
$T_{bs}$  - Temperatura de bulbo seco, °C;

UR - Umidade relativa, % ;

$P_{\text{atm}}$  - Pressão atmosférica do local, mmHg.

Para avaliação dos parâmetros fisiológicos foram registrados os dados de temperatura retal (TR; °C), frequência respiratória (FR; mov min<sup>-1</sup>) e temperatura do pelame (TP; °C), realizados das 06h00 às 18h00, no intervalo de 3h, durante dois dias por semana. A verificação da FR foi realizada a partir da contagem do número de movimentos da região do flanco realizados pelo animal, 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 o tempo de 1 min, para estabilização e obtenção do valor da temperatura.

A temperatura do pelame foi registrada a partir de imagens obtidas por meio de uma câmera termográfica, modelo FLIR i60, que permitiu verificar a variação das temperaturas superficiais dos animais. As imagens foram tiradas do lado direito dos animais em uma distância padrão de 2,50 m entre a câmara e o animal (Figura 3A). Posteriormente foram corrigidas e analisadas pelo software FLIR QuickReport. A emissividade foi ajustada para 0,98 (MONTANHOLI et al., 2009) e as variáveis termohigrométricas foram corrigidas de acordo com os valores obtidos no momento de registro das imagens. Para obtenção da TP, foram selecionados os perímetros correspondentes a uma área retangular no corpo do animal, no sentido longitudinal, entre a região do pescoço e a região femoral e no sentido transversal, da região do dorso até a região ventral do abdômen, em que se determinaram os valores médios de temperatura da superfície do pelame (Figura 3B).



**Figura 3.** Registro de imagem termográfica da novilha (A); imagem termográfica do animal com perímetro delineado (B).

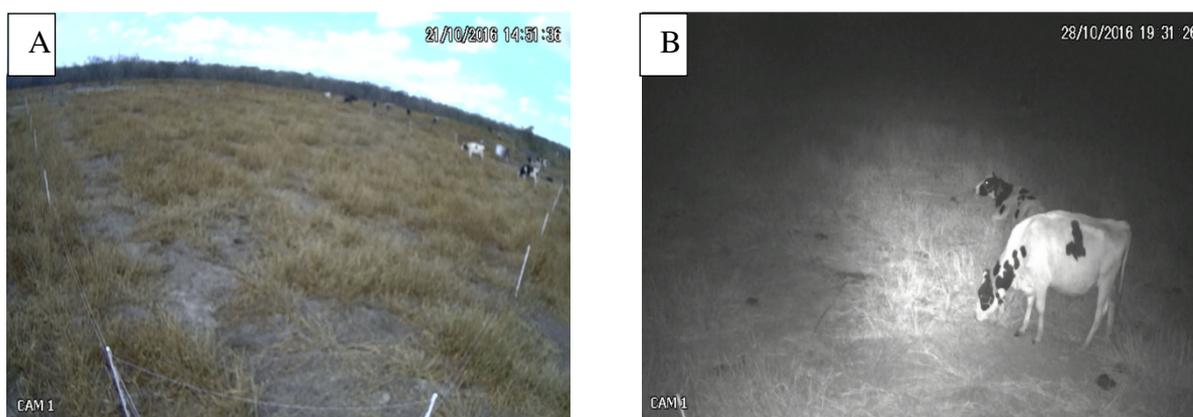
A avaliação do comportamento animal foi realizada para verificar o tempo que os animais passaram exercendo as diferentes atividades. Isso permitiu avaliar as respostas comportamentais dos animais sob pastejo, frente às imposições ambientais a que poderiam

estar sujeitos. A descrição dos comportamentos foi organizada de acordo com cada realidade. Um catálogo com as principais atividades realizadas pelos animais foi desenvolvido para facilitar os registros (ALMEIDA et al., 2013), assim utilizou-se as descrições listadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Descrição das atividades na determinação do comportamento.

Atividades	Descrição
Andando	Caminhando sem apreensão de forragem
Bebendo	Acesso ao bebedouro e consumo de água
Comendo	Apreensão de forragem durante o pastejo
Ruminando	Regurgitação, mastigação e deglutição
Ócio	Em pé ou deitada, sem realizar nenhuma das atividades anteriores

O comportamento dos animais em pastejo foi realizado a partir de imagens gravadas (Figura 4A), 24 horas por dia, por uma câmera da marca Intelbras, modelo 3130 VF Full HD contendo tecnologia infravermelho para auxílio na visão noturna (Figura 4B), posicionada de forma que o campo visual incluísse toda a área de pastejo e alimentada por bateria estacionária recarregada por um painel solar fotovoltaico de 150w. Os comportamentos foram registrados pela adaptação do método de varredura instantânea (ALTMANN, 1974), em que o vídeo era pausado a cada 10 min e observado o comportamento dos animais para aquele instante. A análise comportamental foi realizada uma vez por semana, totalizando três, durante um período de 24h, separados em intervalos de 3h00, em que os dias escolhidos não eram coincidentes com datas de realização dos registros fisiológicos, desta forma, eliminaram-se quaisquer alterações no comportamento dos animais.



**Figura 4.** Imagem gravada, diurna (A); Imagem gravada, noturna (B).

O monitoramento dos animais foi realizado a partir de um protótipo desenvolvido por pesquisadores do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco (DEAGRI-UFRPE) em parceria com o Departamento de Informática do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE-Iguatu), utilizando microcontrolados Arduino e shield GPS (Figura 5A), ou seja, um módulo GPS que transforma o Arduino em um receptor GPS, com armazenamento de dados em um cartão SD, gravando informações de posicionamento global do animal. Os equipamentos foram programados usando a linguagem C/C++ e configurados para registrar o posicionamento dos animais na área com intervalo de 1 (um) minuto, durante o período de pastejo. O GPS era alimentado por 3 baterias de 3800 mAh e, apresentou autonomia de 15 horas. O teste de precisão foi determinado conforme metodologia utilizada por JESUS (2014), em que o presente dispositivo apresentou erro médio de 6,5%, visto que este erro representa apenas 0,65 m a cada 10 m, mostrando-se satisfatório por se tratar de um GPS alternativo.

O GPS ficou protegido por uma caixa case de acrílico, para evitar danos causados pelos animais ou chuva, e acomodados em coleiras de couro (Figura 5B) que foram presas na região do pescoço dos bovinos (Figura 5C).



**Figura 5.** Hardware do sistema desenvolvido (A); protótipo experimental da coleira GPS (B); coleira GPS presa ao pescoço do animal (C).

Antes e após o período de pastejo coletou-se amostras deformadas na camada 0,0–0,05 m do solo para determinação da matéria orgânica (MO), em que carbono orgânico foi determinado pelo método da titulação e a matéria orgânica é calculada multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724, conforme metodologia proposta pela Embrapa (2011). Também se verificou a resistência do solo à penetração (RP), em ambos os períodos, na camada 0,0–0,10 m utilizando um penetrômetro de impacto reduzido, modelo IAA/Planalsucar/Stolf. Com o número de impactos  $\text{dm}^{-1}$  transformado em resistência dinâmica (MPa) por meio da Eq.3 proposta por Stolf (1991). Utilizou-se malha regular 6 x 6

m totalizando 36 pontos de amostragem, com 5 m de bordadura, numa área de 40 x 40 m (Figura 1).

$$RP = \frac{M + m + \left( \frac{M}{M + m} \times \frac{M \times h}{x} \right)}{A} \quad (3)$$

Em que:

RP - Resistência do solo à penetração, kgf cm<sup>2</sup> (kgf cm<sup>-2</sup> 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;

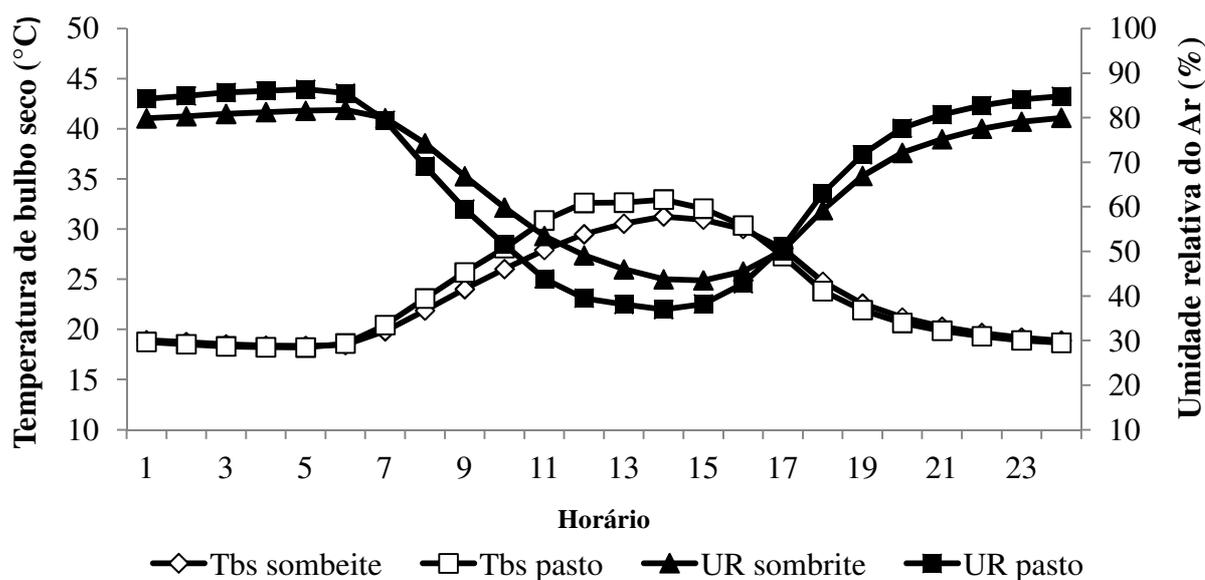
x - Penetração da haste do aparelho, cm por impacto;

A - Área do cone, 1,35 cm<sup>2</sup>.

As variáveis comportamentais foram submetidas à análise de distribuição de porcentagem do tempo despendido pelo teste de qui-quadrado e probabilidade, utilizou-se o programa estatístico Statistical Analysis System (SAS, 1992). As associações das variáveis meteorológicas, fisiológicas e comportamentais foram realizadas por meio de análise multivariada e de seus componentes principais. O programa Surfer 9 (GOLDEN SOFTWARE, 2010) foi utilizado para manipulação e visualização da distribuição espacial, por meio da construção de mapas de sobreposição do monitoramento GPS, MO e RP. A escala do mapa de RP (FIGURA 13 C) foi constituída de acordo com as classes adaptadas do Soil Survey Staff (1993), 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.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

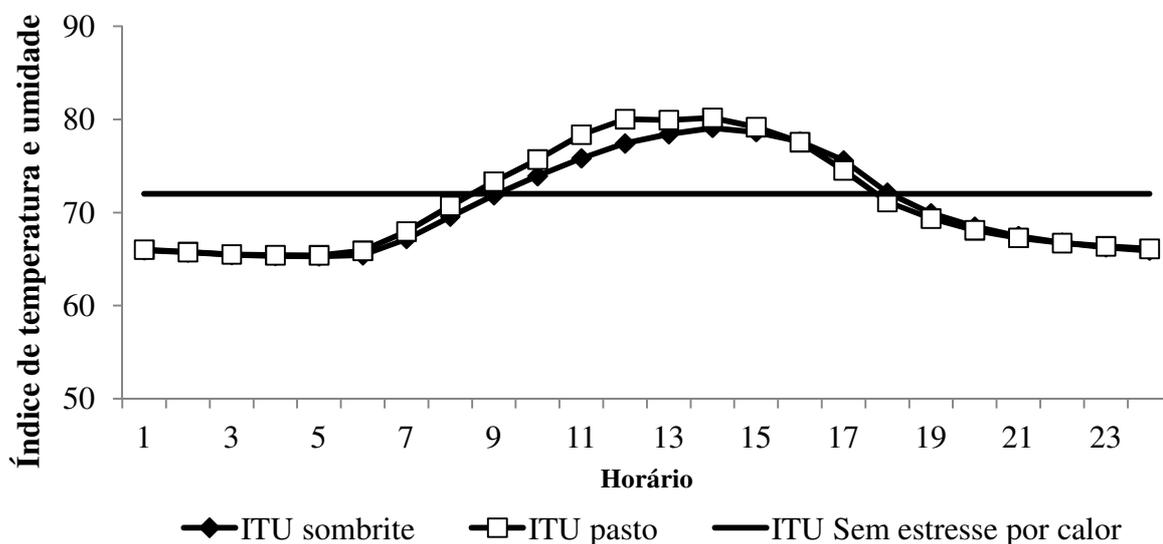
Observa-se, na Figura 6, variação média da temperatura de bulbo seco (Tbs) e da umidade relativa do ar (UR) na área de sombra (sombrite) e no abrigo meteorológico (pasto). Constatou-se temperaturas mais elevadas entre os horários das 11h00 às 16h00. A UR apresentou-se inversamente a tbs durante todo o período de estudo. Conforme Baeta & Souza (1997) para bovinos as melhores condições térmicas seriam de temperatura entre 10 e 27 °C, umidade relativa do ar de 60 a 70% e velocidade dos ventos de 1,4 a 2,2 m/s, possibilitando maior perda de calor, portanto, de acordo com a Figura 6, esse limite ótimo não pode ser observado das 11h00 às 17h00, corroborando Barnabé et al. (2015), que em estudo do conforto térmico de bezerras Girolando, realizado no Agreste pernambucano, encontraram os maiores valores de tbs, registrada em abrigo meteorológico, no intervalo das 11h00 às 16h00 que apresentou média de 32°C .



**Figura 6.** Variação média da temperatura de bulbo seco (°C) e da umidade relativa do ar (%) ao longo do período experimental.

A Figura 7 apresenta o índice de temperatura e umidade. Conforme classificação de Armstrong (1994) o ITU abaixo de 72 caracteriza um ambiente sem estresse por calor, e é considerado ameno quando apresenta valores entre (72 a 78), moderado quando entre (79 a 88) e severo entre (89 a 98). O ITU entre 12h00 e 15h00 foi classificado como moderado, durante o intervalo das 9h00 às 11h00 e 16h00 às 17h00 o índice de temperatura e umidade foi classificado como ameno, os demais horários apresentaram ITU abaixo de 72 o que indica que os bovinos não sofreram estresse por calor.

Os resultados de Tbs e ITU corroboram Barbosa (2012) que utilizando sombreamento artificial (sombrite) sobre índices térmicos em região de clima tropical, obteve maiores valores de Tbs e ITU as 14h00, com valores da ordem de 30,01 °C e 75,31, respectivamente.

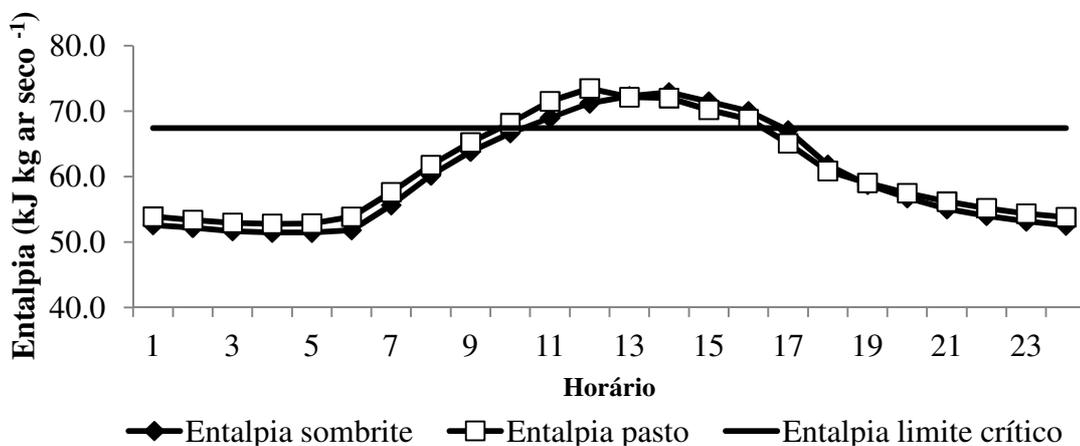


**Figura 7.** Variação média do índice de temperatura e umidade (ITU), ao longo do período experimental.

Avaliando conforto térmico de bovinos a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol, Navarini et al. (2009) encontram ITU média de 80 com animais em pleno sol a uma temperatura de 30,5 °C. Em estudo realizado no Agreste pernambucano Barnabé et al. (2015) encontraram os maiores valores de temperatura de bulbo seco (32°C), em abrigo meteorológico, no intervalo de 12h00 as 14h00, para esse mesmo período o índice de temperatura e umidade apresentou média de 71,8.

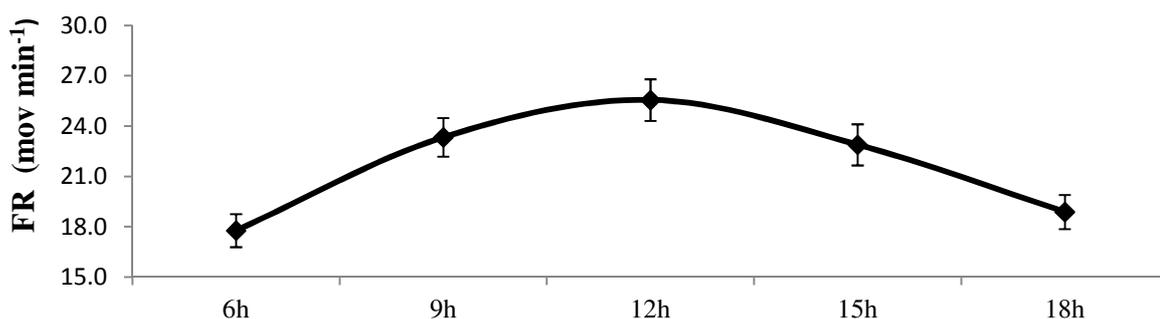
A variação média da entalpia está representada na Figura 8. De acordo com Almeida et al. (2011) o limite crítico de entalpia são valores superiores a 67,4 KJ kg<sup>-1</sup> de ar seco, o que pode ser observado no intervalo entre 10h00 e 16h00, indicando possível condição de desconforto para os animais. Determinando o índice de conforto térmico para zebuínos em todo o Brasil, Tavares et al. (2016) verificaram os piores resultados quando o animal se encontra em um ambiente com elevada velocidade do vento e entalpia muito baixa, sofrendo estresse por frio; e em ambientes com elevada entalpia e baixa velocidade do ar, sofrendo estresse por calor. No mesmo estudo os autores realizaram um zoneamento bioclimático, classificando o estado de Pernambuco como zona de desconforto. Analisando o ambiente térmico de bovinos leiteiros criados em região de clima tropical (ALVES, 2014) verificou

respectivamente médias de ITU e entalpia da ordem de 80 e 76,7 KJ kg<sup>-1</sup> de ar seco para o período da manhã e de 82 e 78,3 KJ kg<sup>-1</sup> de ar seco no período da tarde.



**Figura 8.** Variação média da entalpia (KJ kg<sup>-1</sup> de ar seco) ao longo do período estudado.

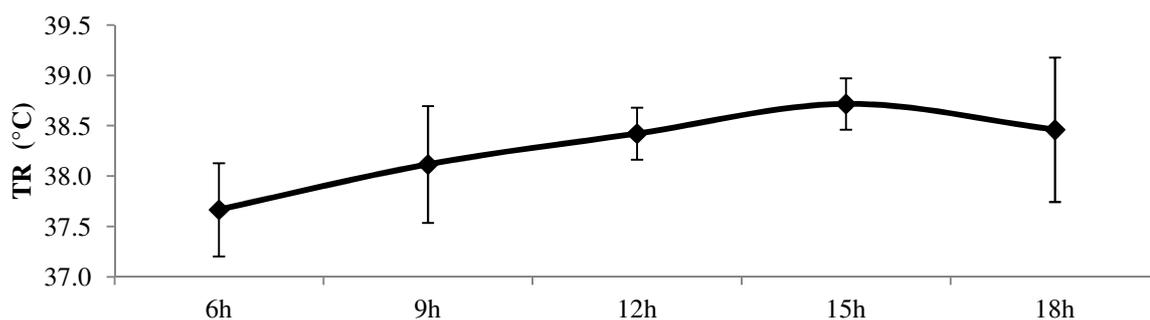
Os maiores valores de frequência respiratória foram observados no período das 8h00 às 15h00, apresentando pico máximo ao meio dia com 22,5 mov min<sup>-1</sup> (Figura 9). De acordo com Hahn et al. (1997) os valores de FR considerados normais, são, entre 18 e 60 mov min<sup>-1</sup>. Os resultados de FR encontrados nesse estudo corroboram Almeida et al. (2011) e Barros Junior et al. (2016) pois ambos em suas respectivas pesquisas encontraram para vacas Girolando valores de FR considerados normais no turno da manhã e da tarde.



**Figura 9.** Valores médios da Frequência respiratória (mov min<sup>-1</sup>) registrados durante período de pastejo.

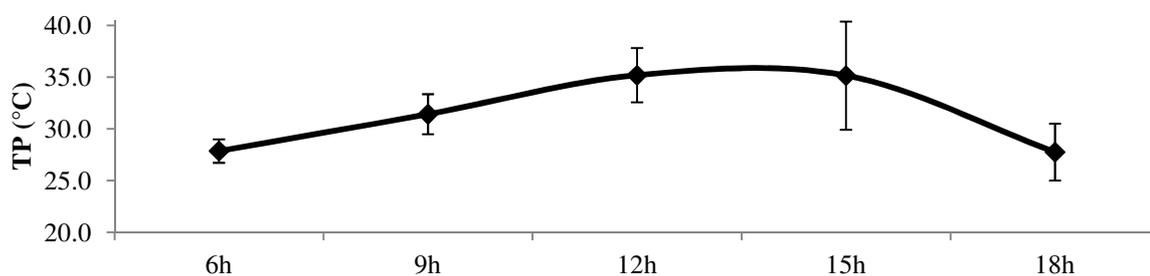
A temperatura retal dos animais (Figura 10) se manteve dentro dos valores fisiológicos normais (38 a 39 °C) sugeridos por Du Preez (2000). De acordo com Perissinotto et al. (2009) valores simultâneos de FR e TR menores ou iguais a 54 mov min<sup>-1</sup> e a 38,7 °C, respectivamente, indicam um estado de conforto térmico dos animais muito bom. Analisando respostas adaptativas da raça Girolando por meio de avaliação das características

termorreguladoras submetida às condições climáticas do semiárido piauiense, Barros Junior et al. (2016) obtiveram para os turnos manhã e tarde médias de 38,35 e 38,68 °C para TR, 34,07 e 34,37  $\text{mov min}^{-1}$  para FR e 24,47 e 31,54 °C para TP, respectivamente, indicado possível situação de adaptabilidade dos animais a região. Conforme Pinheiro et al. (2015), a temperatura retal, frequência respiratória e temperatura de pelame dentro dos valores considerados normais, mesmo quando elevada Tbs, podem ser atribuídos a adaptabilidade dos animais a uma certa região.



**Figura 10.** Valores médios de temperatura retal (°C) registrados durante o período de pastejo.

Ao analisar a temperatura pelame dos animais na Figura 11, observa-se que os maiores valores foram verificados entre 12h00 e 15h00. Analisando o conforto térmico de bovinos a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol, Navarini et al. (2009) obtiveram 37,0 °C como máxima temperatura de pelame e mínima de 33,4° C. Em estudo com tourinhos das raças Sindi e Guzerá mantidos em regime de semiconfinamento, no Agreste paraibano Furtado et al. (2012) encontraram, médias diárias de 38,89 e 38,88 °C de TR; 23,57 e 23,65  $\text{mov min}^{-1}$  de FR e 30,74 e 30,58 °C de temperatura de pelame (TP), para as respectivas raças.



**Figura 11.** Valores médios de temperatura de pelame (°C) registrados durante o período de pastejo.

Mesmo apresentando em alguns horários valores de ITU moderado e de entalpia acima do limite crítico, os valores dos parâmetros fisiológicos dos animais demonstram-se normais, o que pode ser atribuído a adaptabilidade dos animais a região e a velocidade do vento que se

manteve na faixa considerada ideal para bovinos, apresentando média de 2,2 m s<sup>-1</sup>. Conforme Arias & Mader (2010) a velocidade do vento é um fator importante no equilíbrio térmico dos bovinos. De acordo com Tavares et al. (2016) a velocidade do vento auxilia nas trocas de energia do animal com o ambiente, em condições de estresse térmico por calor, facilitando as perdas por meio da convecção.

Estão apresentados na Tabela 3 os valores de percentual das atividades comportamentais desenvolvidas pelos animais. As atividades observadas apresentaram efeito significativo (P < 0,001), considerando-se as seguintes variáveis comportamentais: Andando, bebendo, comendo, ruminando e ócio.

**Tabela 3.** Percentual do tempo despedido pelos animais em cada atividade.

Intervalos	Andando (%)	Bebendo (%)	Comendo (%)	Ruminando (%)	Ócio (%)	Total (%)
00h00 – 03h00	0,15	0,15	1,62	3,47	7,10	12,5
03h00 – 06h00	0,00	0,08	4,17	1,16	7,10	12,5
06h00 – 09h00	0,54	0,31	6,48	1,16	4,01	12,5
09h00 – 12h00	0,00	0,62	4,94	1,77	5,17	12,5
12h00 – 15h00	0,39	0,08	6,94	2,08	3,01	12,5
15h00 – 18h00	0,85	0,31	8,41	1,47	1,47	12,5
18h00 – 21h00	0,15	0,46	1,85	4,71	5,32	12,5
21h00 – 00h00	0,00	0,00	0,39	4,01	8,10	12,5
Total	2,08	2,01	34,80	19,83	41,28	100
Qui-quadrado	GL					Probabilidade
389,0112	28					0,001

Conforme observa-se na Tabela 3, o pastejo foi mais preferencial ao amanhecer (6,48%) ao entardecer (8,41%), resultados semelhantes foram encontrados por Fonseca et al. (2014) avaliando o comportamento ingestivo de vacas em pastagens de *Brachiaria decumbens* no estado do Piauí. No presente estudo a partir das 18h00 os animais reduziram a atividade de pastejo e intensificaram as atividades de ruminação e ócio, o que pode ser justificado pelos maiores picos de pastejo (26,77%) ocorridos no período diurno. Comportamento similar foi observado por Zanine et al. (2008) que avaliaram o comportamento ingestivo de diversas categorias de bovinos da raça Girolando e verificaram redução do tempo pastejo em 56% do período diurno para o noturno, e aumento do ócio e ruminação respectivamente em 44% e 93% no período noturno em relação ao período diurno. Já Fonseca et al. (2014), verificaram que os animais ficaram mais ociosos durante o intervalo das 19h00 às 07h00.

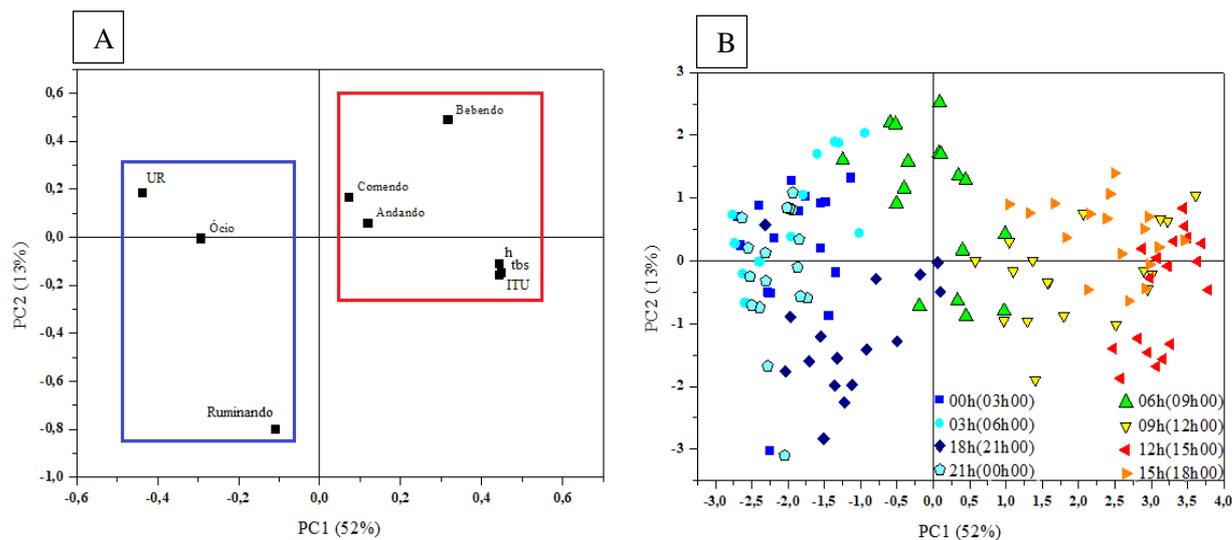
Também se verifica alta frequência de ócio (13,66%) no intervalo entre 6h00 e 15h00. De acordo com Pazdiora et al. (2011) os períodos gastos com a ingestão de alimentos são intercalados com períodos de ruminação ou de ócio.

A maior ingestão de água pelos animais ocorreu durante o intervalo das 6h00 às 9h00 (0,54%) e das 15h00 às 18h00 (0,85%), coincidindo com o período de maior ingestão de alimento e do aumento da ITU e da entalpia, a partir das 7h00, que atingem o seu pico entre 12h00 e 14h00, indicando assim que os animais ingeriram mais água nos períodos de maior consumo de alimento e elevada ITU e h. Assim, os resultados achados concordam com Pazdiora et al. (2011) os quais relataram que o consumo de água está ligado a temperatura ambiente e ao consumo de massa seca.

Ainda conforme Pazdiora et al. (2011) os animais normalmente têm o hábito de ruminar durante a noite, segundo o autor períodos de ruminação também são ritmados pela ingestão de alimento e condições climáticas. A ruminação das novilhas no presente estudo foi maior durante o período noturno (13,35%), na qual os bovinos não apresentavam estresse por calor de acordo com a classificação da ITU, também ficou constatado uma frequência de ruminação (6,48%) no intervalo 6h00 as 18h00, reforçando Nascimento et al. (2011) que avaliou o comportamento ingestivo de vacas mestiças (holandês/zebu), na região Agreste da Paraíba.

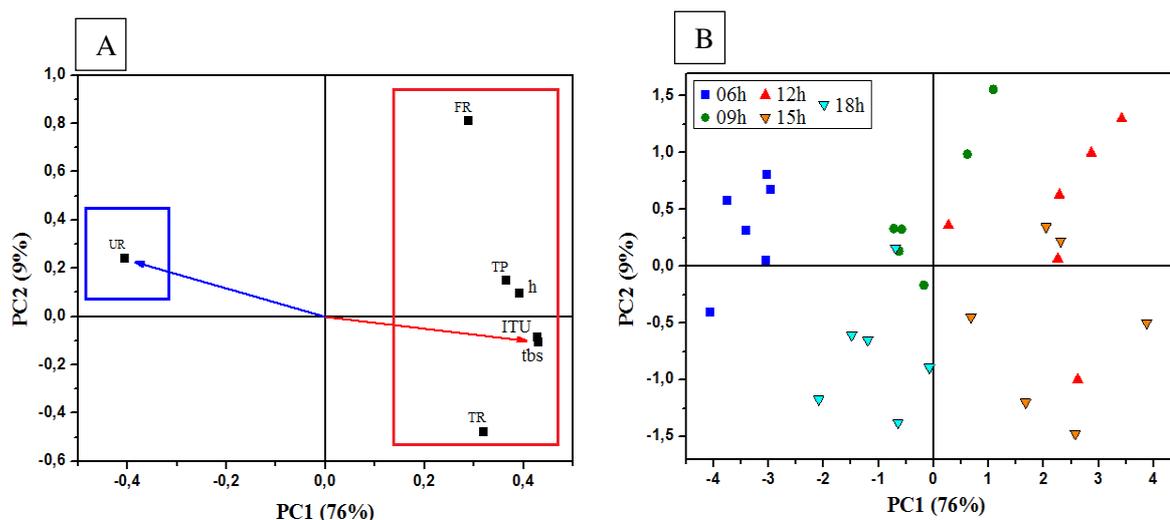
A Figura 12A corresponde a Análise de Componentes Principais, referente ao comportamento dos animais em pastejo (andando, bebendo, comendo, ruminando e ócio) juntamente com as várias meteorológicas (Tbs e UR) e os índices de conforto (ITU e h). Essa análise multivariada mostrou que um total de 65% de toda a informação do sistema foi explicada pelas duas primeiras componentes principais (PC1 e PC2), corroborando Massari et al. (2015), que utilizou este mesmo método estatístico para associações entre conforto térmico animal e as variáveis observadas nos animais. De acordo com a Figura 12A e Figura 12B as variáveis comportamentais andando, bebendo e comendo estão agrupadas com as variáveis Tbs, ITU e h, sugerindo que os animais desenvolveram essas atividades nos períodos em que a temperatura esteve mais elevada (09h00 às 18h00). Dessa forma evidenciou-se que os animais continuam comendo mesmo com o aumento da temperatura, refletindo a adaptabilidade dos mesmo a essa região, conforme mostrado nas análises dos parâmetros fisiológicos (Figuras 9, 10 e 11) que se mostraram normais. Segundo Zaninne et al. (2007) os animais tentem a diminuir drasticamente a ingestão de alimentos quando estão sob estresse térmico. Observa-se que no período de temperaturas mais amenas (18h00 as 06h00) os animais tenderam a permanecer em ócio e ruminando, nesse intervalo também se constataram

os maiores valores de UR. Da mesma forma, em contraposição a Massari et al. (2015), que utilizou análise multivariada para caracterizar o comportamento, de suínos utilizando sistema “wean to finish”, em função do conforto térmico, observaram que com o aumento da temperatura os animais tenderam a permanecer deitados. Ainda conforme as figuras, é notório que no intervalo das 06h00 às 9h00 os animais tendem a realizar todas os comportamentos observados.



**Figura 12.** Análise de componentes principais das variáveis meteorológicas e comportamentais: Coeficientes (A) e scores (B).

Observando agora a Figura 13A que corresponde ao gráfico obtidos por Análise de Componentes Principais para as variáveis fisiológicas (FR, TR e TR), variáveis meteorológicas (Tbs e UR) e os índices de conforto (ITU e h), nota-se que o total de informações explicada pelo sistema foi de 85% em PC1 e PC2. Conforme Figura 13A e Figura 13B, ao agrupar as análises fisiológicas com as variáveis Tbs, ITU e h, observa-se aumento do desconforto à medida que a temperatura exerce uma maior influência sobre os animais nos horários 12h00 e 15h00. Logo, nos intervalos de 6h00, 9h00 e 18h00 que são horários de temperaturas mais amenas (Figura 7), observou-se uma maior relação com a UR, nesse intervalo também foram constatados os menores valores de TR, FR e TP. Utilizando-se análise multivariada para verificar a tolerância ao calor em bovinos Barbosa et al. (2014) observaram que ao sol as variáveis fisiológicas dos animais tenderam a aumentar.



**Figura 13.** Análise de componentes principais das variáveis fisiológicas e ambientais: Coeficientes (A) e scores (B).

A Tabela 4 apresenta resultados da estatística descritiva para RP e MO obtidos antes e após o período de pastejo respectivamente. Observa-se que a MO apresentou um acréscimo de 11,60% e a RP aumentou 79,40% durante o período de pastejo. Conforme Carvalho et al. (2009) a distribuição de dejetos pelos animais, que normalmente não são constantes por toda a área, pode alterar o material orgânico existente nesses locais. Acréscimo semelhante de MO foi encontrado por Silva Neto et al. (2012), em que analisaram a variação espacial do teor de matéria orgânica do solo em pastagens e observaram que após 35 dias de pastejo (6 UA/ha) a matéria orgânica na área foi 17,6% maior. Já os achados de RP concordam com Lanzas et al. (2007), que avaliando os atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura-pecuária indicou que após 14 dias a RP, na camada 0,05–0,08 m, aumentou 57%.

**Tabela 4.** Parâmetros estatísticos descritivos, relativos a resistência a penetração (RP) e matéria orgânica (MO), antes e após período de pastejo.

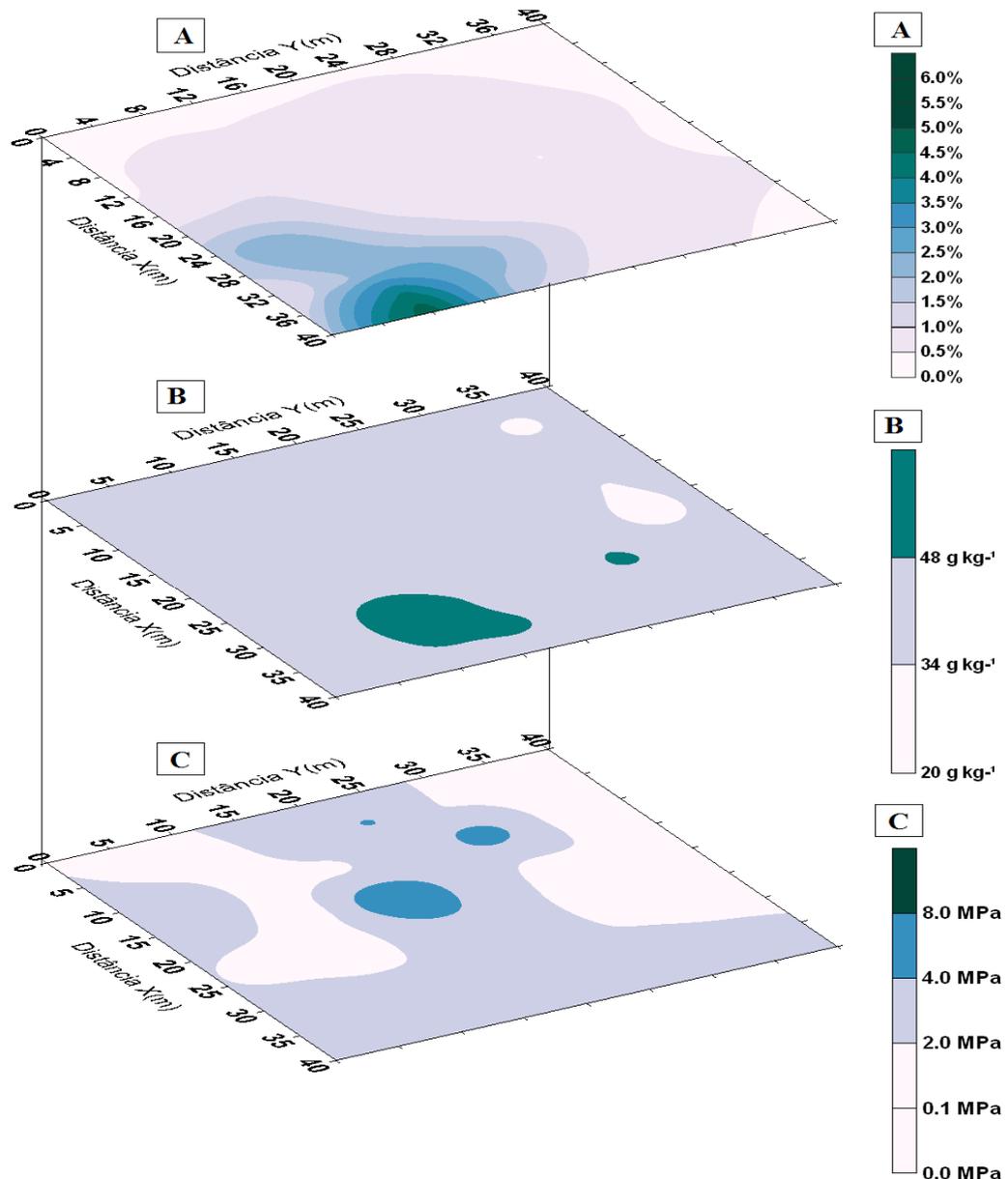
VARIÁVEIS	UNIDADE	MÉDIA	<sup>1</sup> DP	<sup>2</sup> CV (%)
0,00-0,10 m				
RP (antes pastejo)	MPa	1,31	0,89	68,0
RP (após pastejo)	MPa	2,35	1,24	52,0
MO 0,00-0,05 m				
MO (antes pastejo)	g kg <sup>-1</sup>	39,57	6,46	16,0
MO (após pastejo)	g kg <sup>-1</sup>	44,18	5,11	11,0

<sup>1</sup>Desvio Padrão <sup>2</sup>Coefficiente de Variação.

Ao todo as novilhas permaneceram 91,1% do tempo de estudo no campo de pastejo e 8,1% na área de descanso, na qual dispunha de sombra e bebedouro, evidenciando que os

animais buscaram sombra água e frequentemente. De acordo com Glaser (2008) os bovinos mantidos em pastagens de regiões tropicas buscam a sombra regularmente como recurso de conforto térmico.

A Figura 14A apresenta os mapas da porcentagem de permanência dos animais na área destinada ao pastejo, mapa de distribuição da matéria orgânica (Figura 14B) e o mapa da resistência do solo a penetração (Figura 14C).



**Figura 14.** Mapas de espacialização sobrepostos: Mapa referente a porcentagem de permanência dos animais na área destinada ao pastejo (A); Mapa de espacialização da matéria orgânica ( $\text{g kg}^{-1}$ ), após período de pastejo, na camada 0,0 – 0,05 m (B); Mapa de espacialização da resistência do solo a penetração (MPa) após período de pastejo, na camada 0,0 – 0,10 m (C).

Observa-se na Figura 14 que os bovinos permaneceram por mais tempo nas proximidades da área de sombra durante o ciclo de pastejo, nessa região também se constataram os maiores teores de matéria orgânica e a RP apresentou valores acima de 2 MPa, classificada como alta de acordo com as adaptações da Soil Survey Staff (1993). Conforme Vizzotto et al. (2015) em regiões subtropicais de alta altitude, o acesso à água e sombra minimiza os efeitos negativos do estresse térmico no comportamento e nos aspectos fisiológicos das vacas leiteiras.

Avaliando o comportamento de vacas Holandêsas em ambiente quente Da Mata (2016) observaram que os animais permaneceram mais de 90% do tempo avaliado na sombra, demonstrando possível situação de desconforto. Já Handcock et al. (2009) em estudo sobre o monitoramento de bovinos utilizando colares com sensor GPS embutido e imagens de satélite, observaram que os animais se mantiveram perto do bebedouro por uma grande quantidade de tempo procurando não se afastar deste local.

A existência de sombra nas proximidades de campos de pastejo torna-se indispensável principalmente em regiões semiáridas, assim os produtores também podem utilizar abrigos com sombreamento artificial afim de evitar aglomerado de bovinos em uma única região, a utilização de mais de uma área sombreada pode diminuir o efeito do pisoteio e conseqüente desacelerar o aumento da resistência a penetração em áreas de pastejo intensivo. Conforme Schütz et al. (2010) vários tipos de sombra, como árvores ou instalações artificiais podem criar diferentes microclimas.

## **CONCLUSÕES**

- Verificou-se maior percentual de tempo despendido com a ingestão de alimentos e ócio (34,80 e 41,20%) respectivamente;
- A Análise de Componentes Principais mostrou que o comportamento dos bovinos mesmo quando em condições de estresse térmico se adaptaram de acordo com as condições climatológicas locais;
- A matéria orgânica apresentou um acréscimo de 11,60% e a resistência a penetração aumentou 79,40% durante o período de pastejo;
- Os animais permaneceram por mais tempo nas proximidades da área de sombra, onde também foram constatados altos teores de MO e maior resistência do solo a penetração.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. L. P.; PANDORFI, H.; BARBOSA, S. B.; PEREIRA, D. F.; GUISELINI, C.; DE 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. P.; PANDORFI, H.; GUISELINI, C.; HENRIQUE, H. M.; DE 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.

ALVES, M. A. **Respostas termorreguladoras e ambiente térmico de bovinos leiteiros em regiões de clima tropical**. 2014. 79f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Ceará, 2014.

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

ARIAS, R. A.; MADER, T. L. Determinación Del riesgo potencial de estrés térmico del ganado bovino en cuatro localidades del centro y sur de Chile. **Archivos de medicina veterinaria**. v.42, p. 33-39, 2010.

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 e conforto térmico**. 1.ed. Viçosa: UFV, 1997. 246p.

BARBOSA, B. R. P.; SANTOS, S. A.; DE ABREU, U. G. P.; EGITO, A. A.; COMASTRI FILHO, J. A.; JULIANO, R. S.; MCMANUS, C. Tolerância ao calor em bovinos das raças Nelore branco, Nelore vermelho e Pantaneira. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 15, p. 854-865, 2014.

BARBOSA, L. S. **Uso de sombreamento sobre índices térmicos, respostas fisiológicas e desempenho de bezerras cruzadas ½ Holandês x ½ Jersey a pasto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Goiás, 77p. 2012.

BARNABÉ, J. M.; 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.

BARROS JUNIOR, C. P.; DE SOUSA, P. H. A. A.; EVANGELISTA, A. F.; CAVALCANTE, D. H.; BARROS, T. D.; FONSECA, W. J. L.; DE SOUSA JÚNIOR, S. C. Diferenças sazonais e diurnas nas respostas de vacas Girolando ao ambiente térmico do semiárido do Piauí, Brasil. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 4, p. 84-88, 2016.

BISHOP HURLEY, G. J.; SWAIN, D. L.; ANDERSON, D. M. Virtual fencing applications: implementing and testing an automated cattle control system. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 56, p. 14-22, 2007.

CARVALHO, P. C. F.; TRINDADE, J. K.; MEZZALIRA, J. C.; POLI, C. H. E. C.; NABINGER, C.; GENRO, T. C. M.; GONDA, H. L. Do bocado ao pastoreio de precisão: compreendendo a interface planta animal para explorar a multi-funcionalidade das pastagens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, p. 109-122, 2009.

CATTELAM, J.; VALE, M.M. Estresse térmico em bovinos. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias**, v.108, p.96-102, 2013.

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

DA MATA, B. C.; PIRES, M. D. F. Á.; MARQUES, L. C. G.; PORTO, B. R.; DE CARVALHO JUNIOR, I. S. Comportamento diurno de vacas Holandesas puras por cruzas em ambiente quente. **Caderno de Ciências Agrárias**, v. 8, p. 49-56, 2016.

DU PREEZ, J. H. Parameters for the determination and evaluation of heat stress in dairy cattle in South Africa. **Onderstepoort Journal Veterinary Research**, v.67, p.263-271, 2000.

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

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: JONG VAN LIER, Q. **Física do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-28, 2010.

FONSECA, W. J. L.; FONSECA, W. L.; DE SOUSA, P. H. A. A.; DE OLIVEIRA GUERRA, L.; LUZ, C. S. M., DOS SANTOS, T. R.; DE SOUSA JÚNIOR, S. C. Ingestive Behavior of Cows in Pastures *Andropogon gayanus* and *Brachiaria decumbens* in Southern State of Piauí, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 6, p. 144, 2014.

FURTADO, D. A.; PEIXOTO, A. P.; REGIS, J. E. F.; NASCIMENTO, J. W. B. DO; ARAUJO, T. G. P.; LISBOA, A. C. Termorregulação e desempenho de tourinhos Sindi e Guzerá, no Agreste paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 1022-1028, 2012.

GLASER, F. D. **Aspectos comportamentais de bovinos das raças Angus, Caracu e Nelore a pasto frente à disponibilidade de recursos de sombra e água para imersão**. 2008. 117f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade de São Paulo, 2008.

GOLDEN SOFTWARE. **Surfer** for windows version 9.0. Colorado: Golden, 2010.

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.

HANDCOCK, R. N.; SWAIN, D. L.; BISHOP-HURLEY, G. J.; PATISON, K. P.; WARK, T., VALENCIA, P.; O'NEILL, C. J. Monitoring animal behaviour and environmental interactions using wireless sensor networks, GPS collars and satellite remote sensing. **Sensors**, v. 9, p. 3586-3603, 2009.

LACA, E.A. Pastoreo de precisión. In: **Bioma Campos**: innovando para mantener su sustentabilidad y competitividad. Montevideo: Tradinco. v.1. 2008. p.29-40

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

MARTHA JÚNIOR, G. B.; BARIONI, L. G.; VILELA, L.; BARCELLOS, A. D. O. Área de piquete e taxa de lotação no pastejo rotacionado. Embrapa Cerrados. **Comunicado Técnico**, 2003, 8p.

MASSARI, J. M.; CURI, T. M. D. C.; MOURA, D. J.; MEDEIROS, B. B.; SALGADO, D. Behavioral characteristics of different gender division of growing and finishing swine in “wean to finish” system. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 646-656, 2015.

NAVARINI, F. C.; KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A. T.; TEIXEIRA, R. D. A.; ALMEIDA, C. P. Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. **Engenharia Agrícola**, v. 29, p. 508-517, 2009.

NASCIMENTO, G. V.; ALMEIDA CARDOSO, E.; BATISTA, N. L.; SOUZA, B. B.; CAMBUÍ, G. B. Comportamento ingestivo de vacas mestiças (holandês/zebu) sob regime de pastejo rotacionado em brachiaria brizantha cv. Marandu. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 1, p. 31-36, 2013.

PAZDIORA, R. D.; BRONDANI, I. L.; SILVEIRA, M. F. D.; ARBOITTE, M. Z.; CATTELAM, J.; PAULA, P. C. D. Efeitos da frequência de fornecimento do volumoso e concentrado no comportamento ingestivo de vacas e novilhas em confinamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, p. 2244-2251, 2011.

PERISSINOTTO, M.; MOURA, D. J.; CRUZ, V. F.; SOUZA, S. R. L. D.; LIMA, K. A. O. D.; MENDES, A. S. Thermal comfort on Subtropical and Mediterranean climate analyzing some physiological data through fuzzy theory. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1492-1498, 2009.

PINHEIRO, A. C.; SARAIVA, E. P.; SARAIVA, C. A. S.; FONSECA, V. D. F. C.; ALMEIDA, M. E. V.; DOS SANTOS, S. G. G. C.; NETO, P. J. R. Características anatomofisiológicas de adaptação de bovinos leiteiros ao ambiente tropical. **Agropecuária Técnica**, v. 36, n. 1, p. 280-293, 2015.

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.

SAS INSTITUTE. **Statistical Analysis System**: releas 6.08, (software). Cary, 1992. 620p.

SALTON, J. C.; CARVALHO, P. C. F. **Heterogeneidade da pastagem – causas e consequências**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste. Doc. 91. 2007, 41p.

SCHÜTZ, K. E.; ROGERS, A. R.; POULOUIN, Y. A.; COX, N. R.; TUCKER, C. B. The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, v. 93, p. 125–133, 2010.

SILVA NETO, S. P.; SANTOS, A.; LEITE, R.; DIM, V.; NEVES NETO, D. N.; SILVA, J. Variação espacial do teor de matéria orgânica do solo e produção de gramínea em pastagens de capim-marandu. **Bioscience Journal**, v. 28, p. 41-53, 2012.

SILVEIRA, D. C.; MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 659-667, 2010.

SOIL SURVEY STAFF. **Soil Survey Manual**. Washington: Usda- Scs. U.S. Gov. Print. Office, 1993. 437p.

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.

TAVARES, G. F.; CARNEVSKIS, E. L.; SCHIASSI, L.; CARLOS FILHO, R.; DA SILVA MIRANDA, K. O.; DE MIRANDA, J. H. Zoneamento bioclimático para bovinos de corte no Brasil com o auxílio de sistemas inteligentes. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 4, p. 116-123, 2016.

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

VIZZOTTO, E. F.; FISCHER, V.; NETO, A. T.; ABREU, A. S.; STUMPF, M. T.; WERNCKE, D.; MCMANUS, C. M. Access to shade changes behavioral and physiological attributes of dairy cows during the hot season in the subtropics. **animal**, v. 9, p. 1559-1566, 2015.

ZANINE, A. M.; VIEIRA, B. R.; DE JESUS FERREIRA, D.; VIEIRA, A. J. M.; DE PAULA LANA, R.; CECON, P. R. Comportamento ingestivo de diversas categorias de bovinos da raça Girolanda, em pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu. **Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da Unipar**, v. 11, p. 35-40, 2008.

ZAPE Digital - **Zoneamento Agroecológico de Pernambuco**. Recife-PE: Embrapa Solos, 2001. (Embrapa Solos. Documentos, n.35). ZAPE Digital, CD-ROM. 2001.