

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

ÉRICA RUI MILITÃO

**MICROCLIMA E QUALIDADE DE FORRAGENS EM SISTEMA
SILVIPASTORIL AGROECOLÓGICO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE
REPOUSO DO PASTEJO E SOMBREAMENTO**

DISSERTAÇÃO

DOIS VIZINHOS

2017

ÉRICA RUI MILITÃO

**MICROCLIMA E QUALIDADE DE FORRAGENS EM SISTEMA
SILVIPASTORIL AGROECOLÓGICO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE
REPOUSO DO PASTEJO E SOMBREAMENTO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Zootecnia, do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Produção e Nutrição Animal.

Orientador: Prof. Dr. Frederico Márcio Corrêa Vieira

Coorientadora: Prof^a MSc. Lilian Regina Rothe Mayer

DOIS VIZINHOS

2017

M644m Militão, Érica Rui.
Microclima e qualidade de forragens em sistema silvipastoril agroecológico em função do tempo de repouso do pastejo e sombreamento / Érica Rui Militão – Dois Vizinhos, 2017.
74f.:il.

Orientador: Frederico Márcio Corrêa Vieira
Coorientadora: Lilian Regina Rothe Mayer
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Dois Vizinhos, 2017.
Bibliografias p.63-73

1. Ecologia agrícola 2. Forragem 3. Microclimatologia
I. Vieira, Frederico Márcio Corrêa, orient. II. Mayer, Lilian Regina Rothe, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Dois Vizinhos IV. Título

CDD: 631.584

Ficha catalográfica elaborada por Rosana da Silva CRB: 09/1745

Biblioteca da UTFPR-Dois Vizinhos



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Câmpus Dois Vizinhos
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação n° 085

Microclima e qualidade de forragens em sistema silvipastoril agroecológico em função do tempo de repouso do pastejo e sombreamento

Érica Rui Militão

Dissertação apresentada às quatorze horas do dia vinte e três de fevereiro de dois mil e dezessete, como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, Linha de Pesquisa – Produção e Nutrição Animal, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia (Área de Concentração: Produção animal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Dois Vizinhos. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho.....

Banca examinadora:

Frederico Márcio Corrêa Vieira
UTFPR-DV

Tangriani Simioni Assmann
UTFPR-PB

Américo Wagner Júnior
UTFPR-DV

Prof. Dr. Douglas Sampaio Henrique
Coordenador do PPGZO

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia.

*Aos meus pais Rui Militão (minha força) e Eny Militão (minha paz)
e minha irmã Ester (a página mais linda da minha história)*

AGRADECIMENTOS

A força maior desse mundo.

Aos meus queridos pais Rui Militão e Eny Militão, exemplos de caráter e amor. Pai, obrigada por me fazer ver que os obstáculos não são maiores que nossas forças, como o senhor sempre me disse “luta daí que eu luto daqui”. Mãe, obrigada por estar do meu lado nesses últimos dias, a senhora foi minha paz, meu acalento, meu incentivo. Agradeço também por entenderem os caminhos que quero seguir daqui pra frente. Amo vocês.

A minha irmã Ester (Téia) por ser exatamente quem você é e me fazer entender que meu amor por você é maior que qualquer diferença. Agradeço ainda por essas palavras: “É o meu papel e sua vida, ser seu ânimo quando você estiver querendo desistir, ser o seu pilar pra você não cair e, principalmente, acreditar no seu potencial.” – Obrigada, minha irmã, te amo.

A minha amiga Lilian Kelly, que foi a idealizadora dessa página na minha vida. Sinto-me imensamente feliz e agradecida por estar ao meu lado nessa caminhada. Obrigada pela força que me deste nos momentos em que precisei... Não tenho palavras pra dizer o quanto você é, e sempre será, especial pra mim. A você Lilian, todo o amor e gratidão.

Ao meu professor e orientador Frederico M. C. Vieira, pela confiança depositada, por toda atenção e paciência dedicada, por entender como sou e assim conduzir essa minha trajetória com tanta humanidade. Obrigada também pela amizade, conversas e ensinamentos, vou levá-los comigo sempre. Enfim, obrigada por toda ajuda na condução do experimento. A você, Frederico, minha imensa gratidão.

A minha professora e coorientadora Lilian R. R. Mayer, que me acompanhou desde a graduação. Obrigada pela amizade, atenção, paciência, confiança e por se colocar sempre em prontidão para ajudar, essa ajuda foi imprescindível. Agradeço também por entender meu “desespero” e não medir esforços quando precisei. Vou estar longe, mas você nunca deixará de ser minha professora. A ti, Lilian, a minha imensa gratidão.

Ao grupo GEBIOMET, o qual me orgulho de ter feito parte. A todos do grupo pela ajuda na coleta dos dados em campo e pelo auxílio no laboratório durante todo o experimento. Em especial a Jaqueline Pilatti, amiga que o mestrado me deu e que esteve sempre de prontidão quando precisei. A Cátia Hermes pelas conversas, auxílio no laboratório e risadas compartilhadas nas viagens. Aos orientados da professora Lilian – os acadêmicos Joel, Gustavo, Rodrigo, Alana, Adélio e Bianca – pela disposição em ajudar em campo e no laboratório. Se vocês não tivessem ajudado isso tudo teria sido mais difícil. Muito obrigada.

Ao professor Américo Wagner Junior pelo empréstimo de equipamentos e por sempre permitir que fizesse uso do laboratório de fisiologia vegetal quando precisei.

Ao professor Edgar de Souza Vismara pela correção nas análises estatísticas.

Ao Centro Paranaense de Referência em Agroecologia – CPRA, por dispor a área para a realização deste trabalho. Obrigada Evandro Richter e, em especial, muito obrigada Ana Simone Richter por sanar muitas das minhas dúvidas e por aquela conversa em que você me disse que precisamos ser luz nesse mundo. A vocês toda a minha gratidão.

As amigas que ganhei no mestrado Joziane Battiston, que tanto admiro por ser essa pessoa tão doce e tão forte, e Raquel Kölln, pela companhia em laboratório, nossas conversas e risadas.

A Ângela Schneider (Gir) e Adriano Moraes, obrigada pelos almoços, pela companhia na casa... Embora tenha sido pouco tempo foi o suficiente para admirar vocês.

Isabela Lopes, pela companhia durante a graduação e mestrado, te admiro muito.

As minhas amigas, Elizabeth e Paula Helena, que mesmo distantes torceram por mim.

A Capes pela concessão da bolsa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, pela oportunidade.

A todos que de uma forma ou outra ajudaram a concluir este trabalho.

Extensa a lista, mas que não posso deixar de agradecer.

Muito obrigada!

“Os loucos abrem os caminhos que depois emprestam aos sensatos”

Carlo Dossi

RESUMO

MILITÃO, Érica Rui. Microclima e qualidade de forragens em sistema silvipastoril agroecológico em função do tempo de repouso do pastejo e sombreamento. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2017.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os diferentes níveis de sombreamento no sistema silvipastoril agroecológico e sua influência nos aspectos microclimáticos e qualitativos da pastagem polifítica. O experimento foi realizado no Centro Paranaense de Referência em Agroecologia (CPRA), no município de Pinhais/PR, no período de dezembro de 2015 a julho de 2016 e setembro de 2016, totalizando nove meses de avaliações. Foram utilizados oito piquetes com média de 898,75 m², composto por sistema silvipastoril com diferentes espécies arbóreas dispostas em linhas simples com pastagem polifítica. Os registros dos dados microclimáticos foram realizados um dia por mês em três faixas de horários diferentes, a saber: das 8h às 10h, 12h às 14h e das 16h às 18h. Em cada piquete foi estabelecido três posições de coleta denominadas faixas, dentro destas foram determinados três níveis de sombreamento visual (sob a copa das árvores, intermediário e a pleno sol), as variáveis microclimáticas analisadas foram: iluminância (lux), temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m s⁻¹), medidos a 20 cm do solo, e temperatura superficial do solo (°C), mensurada com mira a laser direcionado para a camada superficial. As coletas referentes à forragem foram realizadas nos meses de dezembro de 2015 a abril de 2016 e junho, julho e setembro de 2016. Dentro de cada piquete foram coletadas nove amostras de forragem, referentes às faixas e níveis de sombreamento, descritas anteriormente, e cortadas rente ao solo. As amostras foram pesadas e separadas em gramíneas, leguminosas e espontâneas, em seguida foram fracionadas em folhas, colmos (pseudocolmos) e material morto para a determinação dos componentes botânicos. Para as avaliações bromatológicas os componentes folhas e colmo (pseudocolmos) foram unidos em uma mesma amostra, a fim de determinar a matéria seca, proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido. Os resultados microclimáticos mostraram interação entre horas e pontos para iluminância e temperatura superficial do solo, de modo geral para as duas variáveis obtiveram menores valores sob a copa das árvores; as maiores diferenças foram encontradas na faixa de horário das 12h às 14h, entre o ponto de coleta sob a copa das árvores e a pleno sol. A temperatura do ar e a umidade relativa do ar obtiveram diferenças entre as horas com valores de temperatura do ar menores e umidade do ar maior, ambas na faixa das 8h às 10h. A velocidade do vento foi maior na faixa de horário das 12h às 14h. Os resultados obtidos para pastagem mostram, de modo geral, que as gramíneas apresentaram modificações em respostas ao sombreamento, com proporções de folha, relação folha/colmo, proteína bruta e matéria seca maiores no ponto de coleta sob a copa das árvores.

Palavras-chave: Pastagem polifítica. Sombreamento. Radiação.

ABSTRACT

MILITÃO, Érica Rui. Microclimate and forage quality in agro-ecological silvopastoral system as a function of rest rotation grazing and shading. 2017. 78 f. Dissertation (Master's in Animal Science) – Post Graduate Program in Animal Science. University Technological Federal of Paraná, Dois Vizinhos, 2017.

The objective of this work was to evaluate the different levels of shading in the agroecological silvopastoral system and its influence on the microclimatic and qualitative aspects of the pasture. The experiment was carried out at the Paranaense Reference Center in Agroecology (CPRA), in the city of Pinhais/PR, from December 2015 to July 2016 and September 2016, totaling nine months of evaluations. Eight pickets with a mean of 898.75 m² were used, composed by silvopastoral system with different tree species arranged in simple lines with pasture. The microclimatic data records were performed one day per month in three different time bands: from 8 am to 10 am, from 12 am to 2 pm and from 4 pm to 6 pm. In each picket, three collecting positions were defined as bands, within which three levels of visual shading were determined (under the tree canopy, intermediate and full sun), the microclimatic variables analyzed were: illuminance (lux), air temperature (°C), relative humidity (%), wind speed (m s⁻¹), measured at 20 cm from the soil and soil surface temperature (°C), measured with a laser sight directed to the surface layer. The fodder collections were carried out in the months of December 2015 to April 2016 and June, July and September of 2016. Within each picket, nine forage samples were collected, referring to the bands and levels of shading, previously described, and cut close to the soil. The samples were weighed and separated into grasses, legumes and spontaneous, then fractionated in leaves, stems and senescent material for the determination of the botanical components. For the bromatological evaluations the leaf and stem components were united in the same sample in order to determine the dry matter, crude protein, neutral detergent fiber and acid detergent fiber. The microclimate results showed interaction between hours and points for illuminance and soil surface temperature, generally for the two variables obtained lower values under the canopy of the trees; The greatest differences were found in the time zone from 12 am to 2 pm, between the collection point under the treetops and in full sun. The air temperature and the relative humidity of the air obtained differences between the hours with lower values of air temperature and humidity of the greater air, both in the range of 8am to 10am. Wind speed was highest in the 12 am range at 2 pm. The results obtained for grazing show, in general, that the grasses showed changes in responses to the shade, with leaf proportions, leaf/stem ratio, crude protein and dry matter higher at the collection point under the tree canopy.

Key words: Pasture. Shading. Radiation.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 – IMAGEM AÉREA DO CENTRO PARANAENSE DE REFERÊNCIA EM AGROECOLOGIA (CPRA) | 29 |
| FIGURA 2 – VISTA DE PARTE DA ÁREA EXPERIMENTAL | 30 |
| FIGURA 3 – CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL..... | 30 |
| FIGURA 4 – FIGURA ESQUEMATIZANDO AS MEDIDAS REALIZADAS PARA A OBTENÇÃO DO DIÂMETRO DE COPA | 33 |
| FIGURA 5 – EQUIPAMENTOS USADOS NO INVENTÁRIO FLORESTAL. SUTA (A), HIPSÔMETRO VERTEX III E TRANSPONDER (B) E FITA MÉTRICA (C) | 33 |
| FIGURA 6 – FIGURA DEMONSTRANDO ESQUEMATICAMENTE OS PONTOS DE REGISTRO DOS DADOS | 35 |
| FIGURA 7 – DEMARCAÇÃO DAS ÁRVORES COM FITAS DE TECIDO NÃO TECIDO (TNT)..... | 35 |
| FIGURA 8 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO REGISTRO DOS DADOS MICROCLIMÁTICOS. LUXÍMETRO DIGITAL (A); TERMO-HIGRO-ANEMÔMETRO (B); TERMÔMETRO INFRAVERMELHO (C) | 37 |
| FIGURA 9 – COLETA DA FORRAGEM (A); QUADRADO METÁLICO, TESOURA DE PODA E RÉGUA | 38 |
| FIGURA 10 – SEPARAÇÃO BOTÂNICA (GRAMÍNEAS, LEGUMINOSAS E ESPONTÂNEAS). SEPARAÇÃO DE GRAMÍNEA E LEGUMINOSA (A); PLANTAS ESPONTÂNEAS (B) | 39 |
| FIGURA 11 – SEPARAÇÃO BOTÂNICA DE GRAMÍNEA EM FOLHA, COLMO E MATERIAL MORTO | 40 |
| FIGURA 12 – ILUMINÂNCIA MÉDIA OBTIDA E RESPECTIVOS ERROS-PADRÃO NOS DIFERENTES HORÁRIOS E PONTOS DE MEDIÇÕES NO SISTEMA SILVIPASTORIL AGROECOLÓGICO | 48 |
| FIGURA 13 – TEMPERATURA SUPERFICIAL DO SOLO MÉDIA E RESPECTIVOS ERROS-PADRÃO OBTIDA NOS DIFERENTES HORÁRIOS E PONTOS DE MEDIÇÕES NO SISTEMA SILVIPASTORIL AGROECOLÓGICO | 51 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| TABELA 1 – MÉDIA DE REPOUSO PARA CADA PIQUETE DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL | 31 |
| TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO NOS PIQUETES DA ÁREA EXPERIMENTAL NA PROFUNDIDADE DE 0-20 CM COLETADAS EM SETEMBRO DE 2015 | 31 |
| TABELA 3 – INVENTÁRIO DOS INDIVÍDUOS ARBÓREOS DOS PIQUETES A SEREM ESTUDADOS | 32 |
| TABELA 4 – DADOS METEOROLÓGICOS MÉDIOS REGISTRADOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DO CPRA E NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PINHAIS | 46 |
| TABELA 5 – VALORES MÉDIOS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO) DE ILUMINÂNCIA (LUX) NOS DIFERENTES HORÁRIOS DE MEDIÇÕES E PONTOS DE MEDIÇÃO | 48 |
| TABELA 6 – VALORES MÉDIOS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO) DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DO SOLO (°C) NOS DIFERENTES HORÁRIOS DE MEDIÇÕES E PONTOS DE MEDIÇÃO..... | 50 |
| TABELA 7 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO, MÍNIMA, MEDIANA E MÁXIMA) PARA A TEMPERATURA DO AR (°C) OBTIDAS NOS DIFERENTES HORÁRIOS E PONTOS DE MEDIÇÕES | 53 |
| TABELA 8 – VALORES MÉDIOS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO) NOS DIFERENTES HORÁRIOS DE MEDIÇÕES PARA VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS DE UMIDADE RELATIVA DO AR (UR %) E VELOCIDADE DO VENTO (M S ⁻¹) EM TODO O PERÍODO EXPERIMENTAL | 54 |
| TABELA 9 – DADOS METEOROLÓGICOS MÉDIOS REGISTRADOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DO CPRA DURANTE O PERÍODO DO ESTUDO | 55 |
| TABELA 10 – VALORES MÉDIOS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO) DA ALTURA (CM) DAS FORRAGENS E DAS PROPORÇÕES (%) DE GRAMÍNEA, LEGUMINOSA, MATERIAL MORTO E ESPONTÂNEAS NOS DIFERENTES PONTOS DE MENSURAÇÃO | 57 |
| TABELA 11 – VALORES MÉDIOS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO) DAS PROPORÇÕES (%) DE FOLHA, COLMO, MATERIAL MORTO (MM) E RELAÇÃO FOLHA/COLMO (F/C) DAS GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS NOS DIFERENTES PONTOS DE MENSURAÇÃO | 59 |
| TABELA 12 – VALORES MÉDIOS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO) DE MATÉRIA SECA (MS%), PROTEÍNA BRUTA (PB%), FDN (%) E FDA (%) DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS NOS DIFERENTES PONTOS DE MEDIÇÃO | 60 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 2 OBJETIVOS | 15 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 15 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 15 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA | 16 |
| 3.1 ASPECTOS AGROMETEOROLÓGICOS DA PASTAGEM..... | 16 |
| 3.1.1 Temperatura..... | 16 |
| 3.1.2 Umidade relativa do ar | 17 |
| 3.1.3 Vento | 18 |
| 3.1.4 Radiação solar..... | 18 |
| 3.2 SISTEMA SILVIPASTORIL: CONCEITOS E ESTRUTURA | 19 |
| 3.3 INFLUÊNCIA DO SISTEMA SILVIPASTORIL NA FORRAGEM | 21 |
| 3.4 AGROECOLOGIA | 24 |
| 4.1. DESCRIÇÃO GERAL | 29 |
| 4.1.1. Caracterização da área experimental | 29 |
| 4.2 PREPARO INICIAL DO EXPERIMENTO | 32 |
| 4.2.1 Inventário Florestal..... | 32 |
| 4.2.2 Visão geral do delineamento experimental | 34 |
| 3.2.2.2 Blocos | 34 |
| 3.2.2.3 Pastejo..... | 34 |
| 4.2.2.4 Horas..... | 34 |
| 4.2.2.5 Pontos | 34 |
| 5 ETAPAS DA PESQUISA | 36 |
| 5.1 ETAPA 1: REGISTRO DOS DADOS MICROCLIMÁTICOS | 36 |
| 5.1.1 Definição e descrição dos procedimentos para o registro dos dados microclimáticos | 36 |
| 5.2 ETAPA 2: COLETAS DOS DADOS DA FORRAGEM | 37 |
| 6 ANÁLISES BROMATOLÓGICAS | 41 |
| 7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS | 43 |
| 7.1 MICROCLIMA | 43 |
| 7.2 PASTAGEM..... | 44 |
| 8 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 46 |
| 8.1 MICROCLIMA | 46 |

| | |
|--|-----------|
| 8.1.1 Iluminância | 48 |
| 8.1.2 Temperatura superficial do solo | 50 |
| 8.1.3 Temperatura do ar..... | 52 |
| 8.1.4 Umidade relativa do ar e velocidade do vento | 54 |
| 8.2 AVALIAÇÃO DA FORRAGEM | 55 |
| 8.2.2 Componentes botânicos..... | 58 |
| 8.2.3 Análises Bromatológica..... | 60 |
| 9 CONCLUSÕES..... | 62 |
| ANEXO..... | 74 |

1 INTRODUÇÃO

O sistema de produção animal a pasto possui grande extensão territorial no Brasil. Tal preferência em relação aos demais sistemas se justifica devido aos baixos custos de manutenção e implantação ao produtor (SILVA, 2011). Segundo Dias-Filho (2011), entre 50 e 70% das áreas de pastagem no Brasil encontra-se em algum grau de degradação, o que resulta em queda na produtividade e danos aos recursos edáficos como, por exemplo, a erosão e lixiviação de nutrientes do solo. Neste contexto, a adoção de práticas que promovam a sustentabilidade e conservação dos recursos naturais se faz necessária, visando à mitigação desses efeitos.

A atual situação em que se encontra a agricultura convencional é questionável. Uma vez que ela traz consigo alterações consideravelmente prejudiciais ao meio ambiente, ligadas à incapacidade de desenvolvimento sustentável. O grande desafio, portanto, é aliar a produção de alimentos com a preservação dos agroecossistemas. Frente a este cenário, a agroecologia é fortalecida, pois tem como base os estudos agronômicos, ecológicos e socioeconômicos nos sistemas agrícolas (ALTIERI, 2008). A agroecologia associada ao modelo de produção que se assemelhe aos ecossistemas naturais – tais como as agroflorestas – é uma alternativa para alcançar a sustentabilidade na produção agropecuária.

Os sistemas agroflorestais apresentam-se promissores quanto à redução dos problemas da pecuária extrativista. Além de valorizar as questões ambientais atuais, promove maior subsistência ao produtor, garantindo-lhe renda extra com a venda da madeira (CORDEIRO; SILVA, 2010).

O sistema silvipastoril é modalidade de sistema agroflorestal que integra, de forma simultânea, o uso das pastagens, árvores e animais em uma mesma área (PERI; DUBE; VARELLA, 2016). Devido às características térmicas das regiões de clima tropical e subtropical, cujos valores de temperatura e umidade relativa são elevados durante a maior parte do ano (BORBUREMA et al., 2014), este sistema torna-se importante na contribuição do conforto térmico do animal. A sombra das árvores reduz a carga térmica do ambiente proporcionando condições adequadas para os animais a pasto (AINSWORTH; MOEA; SKARPE, 2012).

Ao mesmo tempo em que as árvores favorecem a produção animal, também contribuem para melhorias na produção da forragem. Neste sistema, a queda das folhas, galhos e frutos auxiliam diretamente a produção de biomassa do solo, resultando em aumento da matéria orgânica (MURGUEITIO et al., 2011). O estrato arbóreo contribui para diminuição da

temperatura do ambiente e aumento da umidade do local, além da diminuição da radiação direta incidente no dossel forrageiro (BERNARDINO; GARCIA, 2009).

Mesmo com todo o planejamento necessário, os padrões microclimáticos presentes em sistemas convencionais são modificados pela composição de espécies arbóreas, e até mesmo de forragens encontradas nos sistemas agroecológicos, em que a diversidade de espécies é primordial. O adensamento de árvores que provoca demasiada redução da radiação solar acima do dossel forrageiro provoca alterações na iluminância, prejudicando a fotossíntese realizada pela planta. A consequência disso é a diminuição da qualidade e da produção desejada das forragens (SOARES et al., 2009). Portanto, são necessários critérios adequados quanto à escolha das espécies arbóreas, distância entre indivíduos e manejo florestal para garantir o sucesso da implantação do sistema silvipastoril (CASTRO et al., 2009).

São inúmeros trabalhos relacionados aos sistemas silvipastoris. Dentre eles, há as pesquisas relativas ao microclima (BALISCEI et al., 2013; KARKI e GOODMAN, 2014; LOPES et al., 2016) proporcionado pelo ambiente silvipastoril e outras que abordam a influência desse sistema no componente da pastagem (KIRCHNER et al., 2010; COELHO et al., 2014).

Neste sistema podem ocorrer diferenças microclimáticas dentro do mesmo local, o que ressalta a importância de se caracterizar tais alterações e quantificar no sistema avaliado o quanto este fator influencia na forragem. Porém, ainda são escassos os trabalhos que avaliaram os sistemas silvipastoris implantados e manejados de forma alternativa aos sistemas convencionais, como é o caso do sistema agroecológico. Alguns trabalhos abordaram a produção da pastagem em sistema agroecológico (BERTON, 2010; KLENK et al., 2014), entretanto, não avaliaram a influência microclimática do componente arbóreo sobre a mesma. Diante do exposto, fica clara a importância de se avaliar o microclima proporcionado pela composição de diferentes árvores e a influência desse fator na qualidade e produção da pastagem polifítica em sistemas silvipastoris manejados de forma agroecológica.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar se os diferentes intervalos de tempo de repouso do pastejo e níveis de sombreamento dentro do sistema silvipastoril agroecológico influenciam nas características microclimáticas e qualitativas da pastagem polifítica.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar as características microclimáticas proporcionadas pelos diferentes níveis de sombra e a pleno sol no sistema silvipastoril agroecológico;

- Avaliar a influência dos diferentes tempos de repouso do pastejo e níveis de sombreamento na composição botânica e na qualidade bromatológica da pastagem polifítica.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ASPECTOS AGROMETEOROLÓGICOS DA PASTAGEM

O sistema de produção a pasto deve ser encarado pelos produtores como qualquer outra cultura agrícola, em que se precisa do manejo correto e de condições ambientais favoráveis para a sua máxima produção. Todos os organismos vegetais, para o seu crescimento e desenvolvimento, necessitam de condições climáticas adequadas para manter seus processos fisiológicos normais, assegurando-se assim o desempenho das suas funções vitais (REDDEN et al., 2014).

Nos sistemas produtivos, as condições meteorológicas são fatores que influenciam diretamente o crescimento, também podendo afetar o desenvolvimento e a produtividade das plantas que, como consequência, também afetam a produção dos animais. Entre as variáveis meteorológicas que mais afetam as plantas elencam-se a temperatura, a umidade relativa do ar, a velocidade do vento e a radiação solar (MAVI; TUPPER, 2004). Variações na combinação destes fatores ambientais podem ser favoráveis ou desfavoráveis ao crescimento vegetal (HOOGENBOOM, 2000; SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

Mesmo o ambiente estando em condições favoráveis de luz e umidade para esses processos, se a temperatura estiver fora da faixa de tolerância para o vegetal, este pode sofrer alterações fisiológicas. Dessa forma, as condições térmicas em que o vegetal se encontra são de extrema importância para sua produção (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

3.1.1 Temperatura

Tanto a temperatura do ar quanto a temperatura do solo são variáveis climáticas importantes para o crescimento vegetal. Entretanto, isso pode apresentar alterações de acordo com a espécie, variedade e idade da planta. A fotossíntese é diretamente afetada pela temperatura, e seus efeitos dependem das condições ambientais durante o crescimento e da espécie vegetal. Para as plantas C4, as maiores taxas de fotossíntese podem ser encontradas em temperaturas oscilando na faixa de 30 e 40 °C, enquanto que, para as C3, as temperaturas oscilam entre 10 e 20 °C (LARCHER, 2006).

As plantas possuem como característica dependência da temperatura durante o processo de partição dos fotoassimilados entre a parede celular e o conteúdo da célula. Reações enzimáticas são necessárias para que ocorra a síntese de componentes da parede celular, porém

temperaturas elevadas potencializam tais reações. Portanto, a temperatura é um dos principais fatores do meio ambiente que exerce grande influência sobre a qualidade das plantas forrageiras (BUXTON; FALES, 1994).

A temperatura afeta outros processos fisiológicos na planta, como a respiração de manutenção, transpiração, repouso vegetativo, entre outros. Outras mudanças também são influenciadas pela temperatura, como a duração das fases fenológicas, que pode ser retardada ou adiantada, a indução do florescimento, a taxa de germinação de sementes etc. (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002; MAVI; TUPPER, 2004).

Outro fator fundamental para a produção vegetal é a temperatura do solo, que desempenha seu papel ecológico por meio das interações solo-planta. Esta variável influencia em inúmeros processos, como a germinação de sementes, o desenvolvimento e crescimento de raízes, a absorção de água e nutrientes do solo, a difusão de solutos e gases, além da atividade microbiológica e as reações químicas do solo (MATTEUCCI; LOBATO, 2004).

A temperatura do solo além de ser fator importante para o crescimento e desenvolvimento das plantas, pode ser influenciada por fatores meteorológicos como a radiação solar e a temperatura do ar, bem como a conformação topográfica do local, disponibilidade de água no solo, a textura e a cobertura do solo (PAUL et al., 2004).

A superfície do solo é responsável pela troca e armazenagem de energia térmica nos ecossistemas terrestres. O solo aquece e resfria-se no decorrer do dia e do ano a partir da intensidade da radiação solar que atinge sua superfície (GASPARIM et al., 2005). A absorção da energia radiante limita-se aos primeiros milímetros da superfície do solo, onde uma parcela dessa energia sofre o processo de condução molecular. A velocidade com que se propaga o calor no interior do solo é baixa, em virtude disto as variações térmicas mais constantes limitam-se aos horizontes mais superficiais do solo (BERGAMASCHI; GUADAGNIN, 1993; OMETTO, 1981).

3.1.2 Umidade relativa do ar

A umidade relativa é definida pela quantidade de água em forma de vapor encontrada na atmosfera no instante, em relação ao máximo que poderia existir na temperatura que é observada (OMETTO, 1981). A umidade relativa é expressa em porcentagem, em que varia de zero, sendo este o ar totalmente seco, e 100% para o saturado. A umidade exerce funções importantes em diversos processos físicos naturais, como a movimentação de calor na

atmosfera, evaporação e evapotranspiração, além de influenciar a absorção dos vários comprimentos de ondas da radiação solar, afetando diretamente na produção vegetal. Ambientes excessivamente secos acarretam alta transpiração na maioria das plantas ou ainda podem provocar danos indiretos resultantes de ordem fisiológica (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002; SENTELHAS; MONTEIRO, 2009).

3.1.3 Vento

Os ventos são deslocamentos de ar no sentido horizontal originários de gradientes de pressão. É elemento de importante influência no microclima local, podendo interferir no crescimento dos vegetais, tanto do ponto de vista agrônômico como ecológico. Os ventos deslocam-se de áreas mais frias para as mais quentes, isto é, naquelas de menor pressão para as de maior pressão. Elementos tais como a vegetação existente, relevos, construções etc., podem afetar a velocidade dos ventos. Pode alterar-se também com a distância vertical em que é medida (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Os ventos exercem efeitos favoráveis e desfavoráveis dependendo da intensidade que atuam no ambiente. Dentre os efeitos favoráveis pode-se destacar a redistribuição de calor, remoção e/ou renovação de ar e vapor d'água próximo às plantas interferindo na transpiração e, dispersão de sementes e pólen, favorecendo a diversificação de espécies no ambiente. Já os efeitos de ventos intensos implicam em danos mecânicos, anatômicos e fisiológicos. Ventos fortes podem ocasionar deformação das plantas, abrasão de partículas, agitação contínua e desfolha reduzindo-se a área foliar fotossintetizante e proporcionando fechamento dos estômatos, nas quais resultam na diminuição da fotossíntese (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

3.1.4 Radiação solar

A principal fonte de energia do sistema terrestre é o Sol, que é responsável por todos os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre. Assim, a radiação solar exerce papel fundamental para o clima, pois interfere na reflexão, absorção e difusão da energia solar na atmosfera, bem como no ciclo hidrológico e determina a circulação geral da atmosfera (ANDRADE; BASCH, 2012).

A camada terrestre recebe radiação solar com comprimentos de onda de 290 nm até aproximadamente 3.000 nm. Porém, 46% dessa radiação encontra-se na faixa de 400 a 700 nm,

faixa esta utilizada para a fotossíntese, que corresponde a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (LARCHER, 2006; GUREVITCH; SCHEINER; FOX, 2009).

A radiação para a planta não é somente uma fonte de energia, mas um estímulo para o seu desenvolvimento, ou até fator estressante. A energia necessária para a fotossíntese é proveniente da radiação solar. Neste processo, a planta transforma o gás carbônico (CO₂) atmosférico em energia. Com isso, as modificações na radiação podem levar a alterações na produção de carboidratos e em consequência alterar a produção de biomassa nas plantas (TAIZ; ZIEGER, 2013).

Variações na qualidade e quantidade de luz absorvida, transmitida e refletida pelas diferentes partes da planta determinam alterações em sua morfologia, como é o caso da relação folha/colmo. Variações no fotoperíodo também têm importante papel na indução do florescimento em muitas espécies forrageiras, o que acaba afetando a qualidade da forragem (BUXTON; FALES, 1994).

3.2 SISTEMA SILVIPASTORIL: CONCEITOS E ESTRUTURA

Nos sistemas agropecuários é necessário que a produção seja mantida ao longo do tempo, ao mesmo passo em que os recursos naturais devem ser preservados, evitando-se que ocorra a degradação do ambiente produtivo. Na busca por práticas que confirmem sustentabilidade ao sistema produtivo pode-se destacar a utilização dos sistemas agroflorestais como alternativa (BERNARDINO; GARCIA, 2009).

Os sistemas agroflorestais vêm atraindo a atenção de pesquisadores em busca de melhorias nos sistemas agrícolas tradicionais, tornando-os mais produtivos, criando-se a harmonia entre a produção e as condições ecológicas do ambiente, além de considerar os aspectos socioeconômicos da região para se alcançar a sustentabilidade (FADL; MAHMOUD; HAMAD, 2015).

Como parte das práticas agroflorestais, os sistemas silvipastoris (SSP's) integram de forma simultânea em mesma área as florestas e a pecuária, fazendo-se uso de árvores lenhosas, tanto de espécies nativas como exóticas, e, ao mesmo tempo, integrando-os a produção pecuária com o uso de pastagens (PERI; DUBE; VARELLA, 2016). Este sistema abrange técnicas de produção animal e vegetal em que os componentes interagem de forma sustentável e equilibrada, gerando-se produtos que garantem renda ao produtor, além de serviços ambientais (GARCIA; TONUCCI; GOBBI, 2010).

Segundo Veiga et al. (2000), os sistemas silvipastoris podem ser classificados em grupos, sendo eventuais ou verdadeiros. Os eventuais são considerados como a associação entre

o componente arbóreo e a pastagem estabelecida no momento em que há exploração arbórea ou pecuária. Já os verdadeiros são classificados em virtude do componente arbóreo se fazer presente desde o planejamento, o plantio das árvores é regular e realizado com espaçamento e densidade arbórea. Contudo, estes autores afirmam que a permanência destas no sistema não poderá prejudicar os demais componentes, como as pastagens e os animais.

O componente florestal na propriedade rural, por meio desse sistema, pode garantir condições mais adequadas para produção de pastagens e criações. As espécies arbóreas mantêm a circulação de nutrientes e contribui significativamente para a conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, propiciando o incremento da matéria orgânica (ARAÚJO FILHO, 2013; RIBASKI; RIBASKI, 2015).

Além dos benefícios citados acima, o sistema silvipastoril proporciona melhorias nas condições ambientais, o que conseqüentemente auxilia no conforto térmico animal (SOUZA, 2010). Assegurando-se ainda a proteção aos animais contra as variações climáticas como geadas, ventos frios, granizo, tempestades e altas temperaturas (PORFÍRIO-DA-SILVA et al. 2010).

Apesar dos benefícios já conhecidos que o sistema silvipastoril traz ao ambiente, ainda existe a resistência na adoção deste por parte dos produtores. Segundo Dias-Filho e Ferreira (2007), existem barreiras econômicas, operacionais e culturais, pois o produtor necessita de maior investimento inicial, tanto de capital financeiro como de mão de obra, cujo retorno proporcionado pelo sistema é de longo prazo. Os mesmos autores relatam que o sistema tem uma maior complexidade devido à exigência de conhecimento tecnológico e, muitas vezes, os produtores têm percepções limitadas sobre suas características benéficas e potencialidades agronômicas.

Para que o produtor alcance o retorno e os benefícios desejados, o sistema silvipastoril deve ser planejado e desenvolvido de acordo com a realidade local, os objetivos a serem alcançados, além do fácil acesso aos recursos necessários (DAGANG; NAIR, 2003).

Os benefícios do sistema, como a produtividade e a qualidade do que é produzido, são decorrentes das espécies arbóreas e forrageiras utilizadas e até mesmo do material genético animal que é inserido, bem como a adequação destes ao ambiente edafoclimático. Além disso, o arranjo espacial das árvores e o manejo utilizado, tanto para o componente arbóreo quanto para a forrageira e o animal, também interferem no sucesso do sistema (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2015).

Algumas condições básicas para a escolha do componente arbóreo devem ser levadas em consideração, como, não possuírem toxicidade aos animais; não produzir efeitos

alelopáticos sobre a pastagem; serem tolerantes a seca e ventos; possuem sistema radicular profundo para garantir a ciclagem de nutrientes; serem adequadas às condições regionais em que serão inseridas; terem crescimento rápido; devem propiciar alimento para os animais e possuem alta capacidade de rebrota, além da fixação de nitrogênio no caso de leguminosas (SILVA et al., 2008; COSTA et al., 2004).

O eucalipto é uma das espécies arbóreas largamente utilizadas no Brasil e difundidas no meio rural para sistemas de integração devido a sua precocidade, rápido crescimento e múltiplos usos da madeira. Algumas espécies, como o *Eucalyptus grandis*, *dunni* e *urophylla*, são utilizados para a prática (SANTOS et al., 2016; PACIULLO et al., 2010; LUCAS et al., 2015). Porém, outras espécies arbóreas são utilizadas como *Havea brasiliensis* (Seringueira), *Tectona grandis* (Teca), *Acacia mangium*, *Pinus taeda* e *Grevillea robusta* (SALLES, 2015; PORFÍRIO-DA-SILVA, 2012; SOARES et al., 2009) e também leguminosas como a *Leucaena* (Leucena) (OLIVEIRA et al., 2010).

A produtividade da pastagem também é influenciada pela quantidade de radiação que penetra no sub-bosque, que por sua vez é determinada pelo espaçamento utilizado. O correto espaçamento dependerá da espécie arbórea e da arquitetura de sua copa, bem como da espécie forrageira adotada (NOGUEIRA et al., 2008; SOARES et al., 2009). Soares et al. (2009), utilizando dois arranjos de *Pinus taeda*, ambos com linha simples em espaçamentos 3×9 e 5×9m entre árvores, obtiveram melhores respostas produtivas e de qualidade nas gramíneas quando utilizaram maiores espaçamentos.

Existem quatro arranjos espaciais utilizados para sistemas silvipastoris, de linhas simples, duplas, bosques e plantio aleatório dentro da área. No arranjo simples as árvores são dispostas em linhas com espaçamentos regulares (3×10, 5×10, 10×10 e 5×20m). No arranjo em linhas duplas (3×2 ou 3×3m) os espaçamentos entre linhas são reduzidos. Porém, este arranjo pode ocasionar alguns problemas, como o desenvolvimento de plantas daninhas ou zonas de solo descoberto entre as árvores (DIAS-FILHO, 2006).

A escolha do arranjo espacial do componente arbóreo e o manejo a ser adotado para melhor produção, tanto arbórea quanto forrageira, irá depender do objetivo de cada produtor.

3.3 INFLUÊNCIA DO SISTEMA SILVIPASTORIL NA FORRAGEM

O potencial produtivo de uma planta é determinado geneticamente, mas fatores microclimáticos (temperatura, umidade, luminosidade e velocidade do vento), bem como o manejo do pasto, podem influenciar diretamente em sua produtividade e qualidade

(FAGUNDES et al., 2005). A produção forrageira dentro do sistema em que existe o componente árvore é regulada pelas interações entre o estrato arbóreo e a forragem abaixo da copa (BEHAMOND et al., 2012).

As árvores em sistemas silvipastoris, além de proporcionarem sombra aos animais, também podem modificar as condições microclimáticas do ambiente. As copas podem afetar diretamente a temperatura, a radiação solar, a umidade e a movimentação do ar acima do dossel forrageiro (NICODEMO et al., 2004; ALTIERI, 2012).

Um dos benefícios proporcionados pelas árvores, além do sombreamento, é a reposição de folhas e galhos (serapilheira) que garantem o retorno de nutrientes ao sistema, além de ajudar a amenizar a temperatura superficial do solo (ALTIERI, 2012).

As árvores também podem causar variação na qualidade da luz, pois a copa das mesmas impede a passagem da maioria da luz azul-vermelha, que corresponde à faixa de luz que a planta absorve facilmente e utiliza para fotossíntese. A copa das árvores pode tornar-se um fator limitante diminuindo a qualidade, embora a quantidade de luz pareça ser adequada, o que tem efeito importante na eficiência fotossintética (GLIESSMAN, 2005).

A quantidade de luz interceptada pela copa das árvores implica na diminuição da interceptação luminosa pelas forragens, que respondem a este fator por meio de mudanças nas características estruturais, a fim de se tornarem mais eficientes em ambientes com luminosidade reduzida (COELHO et al. 2014).

Em trabalho realizado por Dias-Filho (2002), com 0 e 70% de sombreamento, utilizando duas espécies de *Brachiaria*, sendo *B. brizantha* e *B. humidicola*, observou-se que as duas foram capazes de ajustar os seus processos fotossintéticos ao sombreamento. Porém, a capacidade fotossintética de ambas foi reduzida quando mantidas em sombreamento contínuo.

Além das mudanças fisiológicas proporcionadas ao sistema, o sombreamento também pode ocasionar mudanças morfológicas nas plantas, alterando-se sua quantidade de massa forrageira e qualidade bromatológica da forragem. Dentre as mudanças pode-se destacar o aumento da área foliar em relação às raízes, comprimento e espessura da folha, alongamento de caule/colmos, pecíolos e entrenós, a orientação da lamina foliar, número de folhas, assim como alterações na relação folha/colmo (BERNARDINO; GARCIA, 2009; GARCEZ NETO et al., 2010).

Gobbi et al. (2009) avaliaram as características morfológicas e estruturais da *Brachiaria brizantha* cv. Basilisk e *Arachis pintoi* (amendoim forrageiro) mantidas em 50 e 70% de sombreamento e a pleno sol. Os autores observaram que com a redução da disponibilidade de luz ocorreu aumento no comprimento das lâminas foliares e colmos, o que resultou em maior

altura média do dossel. Para o amendoim forrageiro, a altura do dossel foi de 86,7, 120,6 e 127,3 mm, para a braquiária foi de 392,3, 542,7 e 537,3 mm com os níveis de 0, 50 e 70% de sombreamento respectivamente.

Portanto, para o sucesso da integração entre árvores e pastagens é importante que a forrageira seja tolerante ao sombreamento. Todavia, essa tolerância varia dentre as diferentes espécies de gramíneas e leguminosas (CARVALHO; XAVIER, 2005). Andrade et al. (2003), fizeram a comparação do desempenho de diferentes espécies de gramínea (*Brachiaria brizantha* (Marandu, MG-4 e Basilisk) *Panicum maximum* cv. Mombaça, *Melis minutiflora* e *Hyparrhenia rufa*), consorciadas ou não com *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão que é espécie leguminosa, dentro de um sistema silvipastoril com eucalipto. Os resultados da pesquisa demonstraram que a espécie leguminosa obteve desempenho insatisfatório, dentre o cultivo das gramíneas. O Marandu foi o que se destacou com a maior produção de massa de matéria seca, com aproximadamente 5,000 kg ha⁻¹ e capacidade de cobertura do solo, ficando entre 86 a 95% consorciado ou não com a leguminosa.

Além de o sistema contribuir na melhora da qualidade da planta, este também pode proporcionar menores temperaturas no ambiente. Em áreas sombreadas, as temperaturas são geralmente menores em comparação a áreas a céu aberto. Pezzopane et al. (2015), avaliando um sistema silvipastoril na distância de 2m perto das árvores e a pleno sol, observaram que as diferenças mais evidentes foram relacionadas com a temperatura máxima, em que a 2 m de distância a temperatura média foi de 27,5 °C e a pleno sol de 28,3 °C.

Assim, a temperatura é um dos fatores que podem implicar diretamente na produção e qualidade da planta. A temperatura do ar por sua vez tem relação com a fotossíntese e a respiração, exercendo papel vital para o acúmulo de carboidratos na planta (SANCHES, 1995). O efeito da temperatura na fotossíntese depende principalmente da espécie e das condições ambientais durante o seu crescimento. Existem diferenças nas plantas C3 e C4 quanto à temperatura para obterem maiores taxas de fotossíntese, com as C4 necessitando maiores temperaturas, entre 30 e 40 °C, e as C3 a faixa de temperatura é entre 10 e 20 °C (LARCHER, 2006).

Segundo Van Soest (1994), a temperatura ambiental também tem influência da digestibilidade da planta, pois quanto maior, menor é a digestibilidade da forragem, devido ao aumento da lignificação da parede celular. Altas temperaturas provocam intensa atividade metabólica e os produtos fotossintéticos são mais rapidamente convertidos em componentes estruturais, ao mesmo tempo em que diminuem os nitratos, as proteínas e os carboidratos solúveis.

Paciullo et al. (2007), estudando um sistema silvipastoril com leguminosas arbóreas, como a *Acacia mangium*, a arbustiva *Leucaena leucocephala* x *L. diversifolia* e o *Eucalyptus grandis*, sobre a influência na qualidade da *Brachiaria decumbens* observaram que na fração colmo não correu variação no teor de proteína bruta com 4,7 e 4,6%, em condição de sombreamento e a pleno sol, respectivamente. Porém, na folha foi observado valores de 12,4% sobre sombreamento das árvores e 9,6% a pleno sol. A condição de sombreamento não influenciou nos teores de fibra em detergente ácido e lignina. Todavia, os valores de fibra em detergente neutro foram menores sob a copa das árvores (73,1%) do que a pleno sol (75,9%).

Outro fator fortemente influenciado pelas árvores no sistema silvipastoril é a mudança na velocidade do vento local, em que a diminuição deste gera menores perdas de umidade e evaporação do solo (BAHAMOND et al., 2012). Áreas de pastagem podem ser comprometidas por ventos fortes em decorrência dos danos físicos causados, como fraturas, murchamento e dessecação das folhas (PORFÍRIO-DA-SILVA, 1998; PARMEJANI, 2012).

Os ventos moderados podem reduzir a espessura da camada limítrofe da folha e conseqüentemente sua resistência, favorecendo assim as trocas gasosas entre a folha e a atmosfera (MARENCO; LOPES, 2009).

Soares et al. (2009), avaliaram a velocidade do vento sob a copa das árvores e a pleno sol em sistema silvipastoril de *Pinus taeda* com diferentes espaçamentos (15×3 e 9×3 entre linhas), onde observaram que a velocidade foi menor com 0,76 e 1,11 m/s para os espaçamentos 9×3 e 15×3, respectivamente.

Os fatores ambientais externos podem influenciar no crescimento das plantas e na composição, pois elas utilizam a energia solar para fixar carbono em suas estruturas celulares, o valor nutritivo e a qualidade da forragem são consequência dessa condição (VAN SOEST, 1994).

3.4 AGROECOLOGIA

Na década de 70, com a chamada Revolução Verde, surgiram movimentos que possuíam o intuito de aumentar a produtividade de alimentos em resposta ao rápido crescimento da população. Os pequenos produtores e a quantidade que produziam não eram suficientes para atender a crescente demanda. Em virtude disso, surgiram tecnologias que proporcionaram produção em larga escala, por meio da mecanização dos campos e o uso abusivo de produtos químicos (FREITAS et al., 2014).

A modernização da agricultura convencional, com o uso de máquinas e defensivos, beneficiou unicamente o aumento da produção agrícola, desconsiderando o produtor rural e o

meio ambiente como partes integrantes do sistema de evolução, desencadeando problemas sociais e ambientais (ASSIS, 2002). O cenário agrícola atualmente tem exibido constantes mudanças e desafiado os agricultores a produzir mais alimentos por área. Apesar de contribuir para o aumento da produção e da produtividade de cultivos e criações, este modelo continua responsável por sérios danos ambientais, como a redução da biodiversidade, erosão dos solos, contaminações dos cursos d'água, êxodo rural, dentre outros (CAPORAL, 2009).

Com isso, despertou-se para a preocupação com a sustentabilidade da produção de alimentos em longo prazo, em que a intensificação nas terras agricultáveis já disponíveis se faz necessária, bem como o uso de métodos para recuperar as terras degradadas ou perdidas (FRANCIS; WEZEL, 2015). Em contraponto, frente aos impactos negativos causados pelo uso abusivo das máquinas e práticas não conservacionistas de plantio, surgiram movimentos alternativos ao atual. Nestes novos modelos busca-se estabelecer a produção agrícola e pecuária menos agressiva ao meio ambiente, capaz de proteger os recursos naturais proporcionando sustentabilidade ambiental e socioeconômica (CAPORAL; COSTABEBER, 2002, WEZEL et al., 2009).

Como alternativa para amenizar os problemas provenientes da agricultura convencional surgiu a Agroecologia, com novo modelo de produção. Para Gliessman (2005), a agroecologia é a aplicação de ideias e conceitos da ecologia na construção e no manejo de agroecossistemas sustentáveis. Altieri (2012) a define como nova abordagem que integra os princípios agronômicos, ecológicos e socioeconômicos à compreensão e avaliação do efeito das tecnologias sobre os sistemas agrícolas e a sociedade como todo.

A agroecologia se tornou uma forma de redesenhar os sistemas produtivos, desde a produção no campo até a mesa do consumidor. Os objetivos visam a valorização dos recursos locais, a autonomia financeira das famílias rurais e, a preservação do meio ambiente e da segurança na saúde e na alimentação dos produtores e consumidores (PETERSEN; MUSSOI; SOGLIO, 2013; GLIESSMAN, 2016).

Desta forma, a agroecologia surge como novo conceito de agricultura, capaz de trazer benefícios aos homens do campo e aos consumidores com a oferta de produtos “limpos” de insumos químicos, além de benefícios ao meio ambiente como todo (CAPORAL; COSTABEBER, 2002). É a busca de estratégias de desenvolvimento rural e de transição de agriculturas mais extrativistas para agriculturas mais sustentáveis, contribuindo assim para preservar a vida das atuais e futuras gerações em ambiente de recursos limitados (CAPORAL, 2009).

3.5 PRODUÇÃO DE PASTAGENS EM SISTEMA AGROECOLÓGICO

O pasto é a principal fonte de nutrientes e, também a forma mais econômica e prática de produção de alimentos ao rebanho. Quando bem manejada se torna opção eficiente de exploração. A maior parte do leite que produzido é proveniente do uso das pastagens. Diante disso, o manejo e uso adequado de sistemas pastoris pode reduzir drasticamente os custos de produção de leite, sendo que esta corresponde a maior participação nos custos de produção (SOUZA et al., 2005; SILVA, 2011).

No Brasil, o baixo índice de produtividade está ligado à deficiência na alimentação, devido à baixa qualidade e produção do pasto. A produção atual de pastagem baseia-se no sistema de pastejo, contínuo ou rotativo, com altas doses de adubação nitrogenada. Em vista disso, nota-se a insustentabilidade na produção, devido a altos investimentos financeiros (LENZI, 2012).

A sustentabilidade da pastagem só é alcançada quando são conciliadas as necessidades dos animais com as plantas, porém estes têm interesses conflitantes. Quando o pastejo não é controlado, o pasto sofre degradação e destruição, pois em sistemas contínuos os animais tornam-se predadores das plantas, degradando a pastagem e o solo (MELADO, 2007).

Diante deste fato, faz-se necessário a busca por formas de manejo do pasto que resultem no aumento da produção por área, diminuição dos impactos ambientais e manutenção da capacidade produtiva do pasto a longo prazo. Segundo Berton (2010) o Pastoreio Racional Voisin (PRV) é estratégia eficiente de manejar a pastagem, a qual proporciona produção de forragem com qualidade sem degradar o ambiente.

O Pastoreio Racional Voisin se dá a partir do entendimento e respeito à natureza, onde as necessidades das plantas, do solo e dos animais devem ser atendidas igualmente. O PRV fundamenta-se em subdividir a área em piquetes, permitindo a rotação de pastagens podendo variar o período de ocupação de acordo com as espécies encontradas no pasto, com as características climáticas de cada região, época do ano e fertilidade do solo. Os animais pastoreiam diretamente os piquetes que apresentam o pasto adequado. Assim, a colheita pelo animal e os piquetes já pastejados possibilitam a recuperação das reservas da planta para que cresçam novamente (VOISIN, 1981; BERTON; RICHTER, 2011).

Voisin (1981) estabeleceu quatro leis universais que regem o pastoreio racional, nas quais podem ser aplicadas em qualquer condição de solo, clima, latitude e longitude, sendo elas:

1. Primeira lei

Para que após o pastoreio animal o pasto consiga ter sua máxima produtividade é necessário que tenha um intervalo entre dois cortes sucessivos, a fim de que haja tempo suficiente que permita às raízes da planta acumulem as reservas necessárias para que ocorra um rebrote vigoroso e acúmulo líquido de matéria seca/hectare/dia.

2. Segunda lei

O tempo de ocupação dos piquetes deve ser curto para que a planta não seja pastoreada mais de uma vez no mesmo período de ocupação. Em virtude disto, é necessário que tenha alta carga instantânea, tendo assim, melhor colheita da forragem, reduzindo-se o tempo de ocupação.

3. Terceira lei

É necessário ajudar os animais que tenham maior exigência nutricional a coletar o pasto em elevadas quantidades e de melhor qualidade possível, a fim de obter-se melhor produção animal. Para isso, deve-se dividir os animais em lotes (ex. vacas em lactação, vacas secas e/ou bezerras), permitindo que os animais com maior exigência consumam mais pasto e de melhor qualidade.

4. Quarta lei

Para que o animal apresente rendimentos regulares é necessário que o mesmo não permaneça por mais de três dias no piquete. O rendimento máximo se dá no primeiro dia de ocupação e ao longo dos dias diminui, prejudicando a produção do animal.

De acordo com Melado (2007), com o uso do Pastoreio Racional Voisin, a pastagem é utilizada sempre que as plantas alcançam o seu máximo crescimento. Em virtude disso, as plantas devem sempre ser mantidas em constante crescimento, maximizando o processo de fotossíntese e, conseqüentemente, o sequestro de carbono, não só pela parte aérea das plantas, mas também pelas raízes que armazenam carbono no perfil do solo.

Melado (2007) afirma ainda que a utilização do PRV promove vários serviços ambientais desejáveis, como o aumento da capacidade de lotação animal; a recuperação da pastagem degradada; o aumento da biodiversidade da pastagem e maior fertilidade do solo. Além do controle de pragas no pasto e no gado e, a conservação dos recursos hídricos. Outras vantagens também são atribuídas aos animais que ficam mais dóceis; diminui-se a mão de obra evitando-se assim acidentes; a distância que o gado percorre para encontrar água e alimento é

menor evitando-se o desprendimento de energia; facilidade no controle dos animais; acelera a terminação ou antecipa o período reprodutivo, aumentando o fluxo de caixa na propriedade, além de facilitar a obtenção da certificação orgânica ao produtor.

Maurer et al. (2009), utilizando entrevistas semiestruturadas com produtores que empregavam o uso do PRV, com o objetivo de avaliar a magnitude dos serviços ambientais advindos da sua implantação, mostraram que 66% dos produtores entrevistados afirmaram que antes da implantação do sistema PRV, o solo apresentava-se com pouca cobertura e 84% relataram que depois da adoção do sistema o solo apresentou-se totalmente coberto com plantas com a capacidade de rebrote constante. Na entrevista realizada, 100% dos produtores entrevistados relataram que o PRV proporcionou aumento no número de animais no rebanho e a capacidade de suporte da pastagem, evitando-se o desmatamento para a incorporação de novas áreas de pastagem.

A produção agroecológica busca o respeito ao meio ambiente, o bem-estar dos animais e nas condições sociais dos envolvidos, em que a utilização de tecnologias limpas, o melhor aproveitamento do pasto e o uso mínimo de insumos externos se fazem necessários. Neste sentido o PRV é tecnologia limpa, eficiente e econômica para a produção dos animais a base de pasto (CASTAGNA; ARONOVCH; RODRIGUES, 2008; SOUZA, 2010; WENDLING; RIBAS, 2013).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. DESCRIÇÃO GERAL

O estudo foi realizado no Centro Paranaense de Referência em Agroecologia (CPRA), no município de Pinhais/PR, localizado no Primeiro Planalto Paranaense (FIGURA 1). As coordenadas geográficas são de 25°23'06.21"S e 49°07'26.16"W, com altitude de 893 metros (IPARDES, 2016). De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é Cfb, Subtropical Úmido (Mesotérmico) com temperatura média de 11 °C no mês mais frio, reduzindo-se por vezes abaixo de 2 °C. Durante o verão, a temperatura média gira em torno de 23 °C, podendo atingir acima de 32 °C (ALVARES et al., 2014). A precipitação média anual varia em torno de 1400 a 1600 mm (IAPAR, 2016). Para a região, a média mensal de umidade relativa do ar varia de 75 a 85% (IAP, 2011).

O experimento ocorreu no período de dezembro de 2015 a julho de 2016 e setembro de 2016, totalizando-se nove meses.

FIGURA 1 – IMAGEM AÉREA DO CENTRO PARANAENSE DE REFERÊNCIA EM AGROECOLOGIA (CPRA)



FONTE: Google Maps

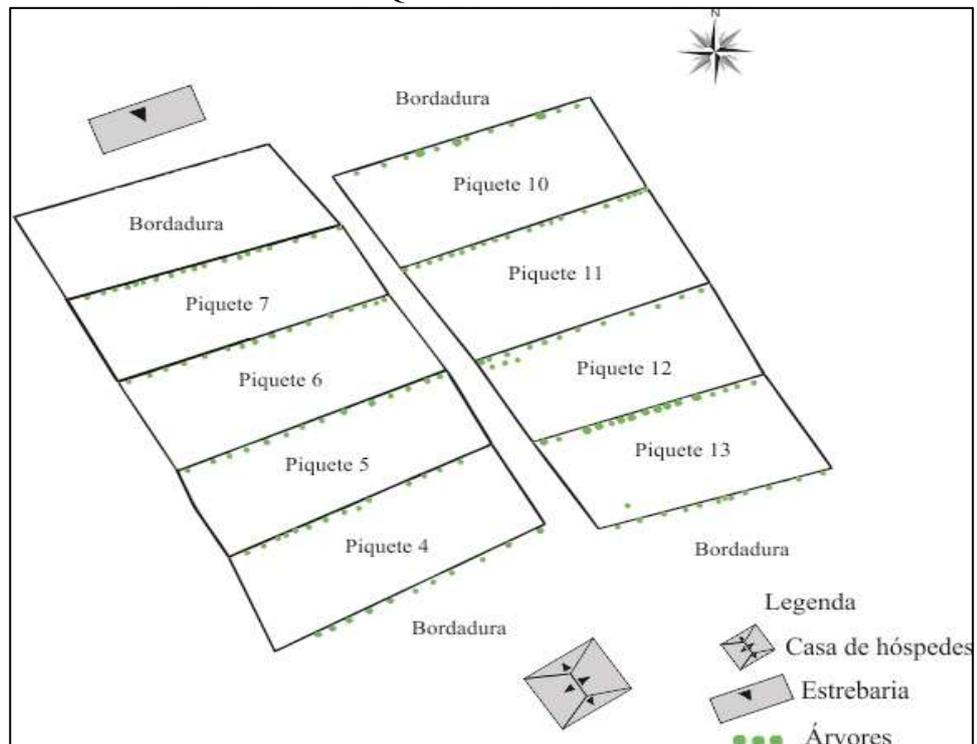
4.1.1. Caracterização da área experimental

O local estudado é composto por sistema silvipastoril, implantado há mais de dez anos. O manejo da área é totalmente agroecológico, desde a base da pecuária ao plantio das espécies arbóreas, a implantação e ao manejo das espécies forrageiras. A área correspondente ao sistema silvipastoril é de 10.894,7 m², de relevo plano com inclinações (FIGURA 2).

FIGURA 2 – VISTA DE PARTE DA ÁREA EXPERIMENTAL

FONTE: A autora (2016).

Para o estudo foram utilizados oito piquetes com média de 898,75 m² de área. O sistema foi composto por árvores de diferentes espécies, dispostas em linhas simples com espaçamento médio de 2,5 m entre indivíduos (FIGURA 3)

FIGURA 3 – CROQUI DA ÁREA EXPERIMENTAL

FONTE: A autora (2016).

A pastagem é polifítica, composta por várias espécies de gramíneas, como *Axonopus compressus* (sempre-verde), *Pennisetum clandestinum* (capim quicuí) entre outras, e por

leguminosas, com predominância do *Trifolium repens* L. (trevo-branco) e *Arachis pintoi* (amendoim forrageiro).

O manejo dos piquetes foi realizado pelo princípio do Pastoreio Racional Voisin, em que o pastejo se dá com alta lotação e o tempo de pastoreio seja curto para os piquetes tenham tempo de repouso. O tempo de permanência dos animais foi de um dia para cada piquete e as médias de repouso de cada piquete foram descritos na TABELA 1.

TABELA 1 – MÉDIA DE REPOUSO PARA CADA PIQUETE DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL

| Piquetes | Médias |
|----------|--------|
| 10 | 28,2 |
| 11 | 20,0 |
| 12 | 25,5 |
| 13 | 35,6 |
| 4 | 31,7 |
| 5 | 26,2 |
| 6 | 32,1 |
| 7 | 31,7 |

FONTE: A autora (2016).

O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo húmico distrófico típico com horizonte B (EMBRAPA, 2014). Para melhor entendimento da área estudada, realizou-se coleta de amostras do solo para análise química (TABELA 2).

TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO SOLO NOS PIQUETES DA ÁREA EXPERIMENTAL NA PROFUNDIDADE DE 0-20 CM COLETADAS EM SETEMBRO DE 2015

| Piq. | pH CaCl ₂ | M.O. Col. g dm ⁻³ | P ---mg/dm ⁻³ --- | K | Ca | Mg | H +Al -----cmol _c /dm ⁻³ ----- | Al | SB | CTC | V -----%---- | m |
|------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------|-----|------|-----|---|-----|------|------|-----------------|-------|
| 10 | 4,7 | 58,1 | 7,8 | 104 | 5,8 | 2 | 14,2 | 1 | 8,1 | 22,3 | 36,3 | 10,99 |
| 11 | 4,8 | 58,4 | 4,3 | 129 | 6,5 | 2,4 | 13,7 | 0,7 | 9,2 | 22,9 | 40,2 | 7,07 |
| 12 | 5,1 | 57,8 | 7,1 | 154 | 7,8 | 4,5 | 11,2 | 0,1 | 12,7 | 23,9 | 53,1 | 0,78 |
| 13 | 4,9 | 57,5 | 17,3 | 172 | 6,7 | 2,8 | 11,6 | 0,3 | 9,9 | 21,5 | 46 | 2,94 |
| 04 | 5,4 | 56,5 | 10,7 | 205 | 12 | 4,2 | 7,5 | 0 | 16,7 | 24,2 | 69 | 0 |
| 05 | 5,6 | 50,4 | 5,2 | 175 | 12,8 | 4,3 | 6,5 | 0 | 17,5 | 24 | 72,9 | 0 |
| 06 | 6,5 | 55,5 | 5,4 | 162 | 12,9 | 5,7 | 3,2 | 0 | 19 | 22,2 | 85,6 | 0 |
| 07 | 5,2 | 55,9 | 6,5 | 212 | 10,9 | 2,8 | 8,9 | 0 | 14,2 | 23,1 | 61,5 | 0 |

Piq.: piquete; pH CaCl₂: potencial hidrogênionico em cloreto de cálcio; M.O. Col.: Matéria orgânica por colorimetria; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; H +Al: acidez potencial; Al: alumínio; SB: saturação por bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio

FONTE: A autora (2016).

As amostras foram coletadas em ziguezague, no total de 4 amostras de 0 - 20 cm por piquete, totalizando 24 amostras. As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Solos da Escola Superior de Agricultura ‘Luiz de Queiroz’ (ESALQ/USP).

Quanto à análise de solos, o solo apresentou-se em geral com matéria orgânica elevada com mais de 50 g/dm³ e pH variando entre acidez média e sem acidez, porém não comprometendo o solo. A saturação por bases encontra-se aceitável em todos os piquetes. O teor de potássio encontra-se alto em todos os piquetes, porém os teores de fósforo variam entre baixo e muito baixo.

4.2 PREPARO INICIAL DO EXPERIMENTO

4.2.1 Inventário Florestal

O inventário florestal da área foi realizado com intuito de selecionar os piquetes ao serem utilizados no experimento (TABELA 3).

TABELA 3 – INVENTÁRIO DOS INDIVÍDUOS ARBÓREOS DOS PIQUETES A SEREM ESTUDADOS

| Nº piquete | Nº árvores | Média DAP | HT | HB | Média dos raios de copa | Área de sombreamento (m ²) | Área total do piquete | ISA (%) |
|------------|------------|-----------|------|------|-------------------------|--|-----------------------|---------|
| 10 | 14 | 14,53 | 9,15 | 3,62 | 4,60 | 85,33 | 938,12 | 127 |
| 11 | 19 | 14,92 | 9,08 | 2,49 | 4,34 | 82,98 | 946,36 | 166 |
| 12 | 12 | 18,70 | 8,41 | 2,66 | 5,21 | 108,17 | 812,70 | 173 |
| 13 | 18 | 18,01 | 7,86 | 2,83 | 5,38 | 107,41 | 852,77 | 226 |
| 07 | 15 | 14,74 | 8,70 | 2,83 | 3,91 | 61,43 | 830,07 | 111 |
| 06 | 17 | 14,06 | 6,68 | 2,33 | 4,05 | 62,61 | 928,57 | 114 |
| 05 | 14 | 14,48 | 6,17 | 1,74 | 4,05 | 77,35 | 897,31 | 120 |
| 04 | 15 | 16,28 | 7,08 | 2,70 | 4,40 | 88,21 | 984,07 | 134 |

DAP: diâmetro da altura de peito; HT: altura total; HB: altura da primeira bifurcação; ISA: índice de sombreamento arbóreo

FONTE: A autora (2016).

Os dados coletados para a realização do inventario florestal foram:

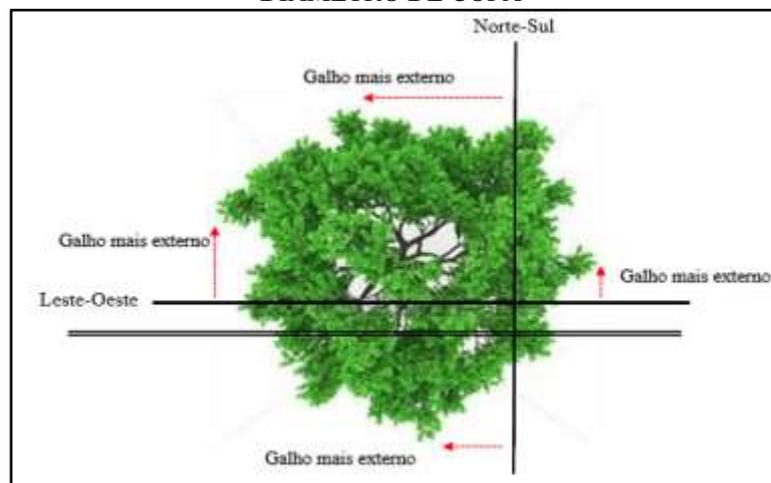
- **Diâmetro na altura do peito (DAP):** foi adotado a 1,3 metros de altura no tronco da árvore e medido diretamente por meio da suta (FIGURA 5A). Para contornar

problemas de irregularidade da secção do tronco foram tomadas duas medidas de diâmetro, à altura do peito, com a suta, uma perpendicular à outra, e realizada a média destas medidas.

- **Altura:** a altura das árvores foi medida entre o ponto médio do tronco e o ramo mais alto, utilizando o hipsômetro Vertex III eletrônico (FIGURA 5B). Com este aparelho é possível se obter medida rápida e acurada de alturas de árvores de 0 a 100 metros, estando à distância de 0 a 30 metros.

- **Diâmetro de copa:** em cada árvore foi realizada duas medidas, uma sendo na orientação norte-sul e outra leste-oeste, cujo limite das medidas foi o ramo mais externo da copa (FIGURA 4 e FIGURA 5C).

FIGURA 4 – FIGURA ESQUEMATIZANDO AS MEDIDAS REALIZADAS PARA A OBTENÇÃO DO DIÂMETRO DE COPA



FONTE: Adaptado de canstockphoto (2016).

Para tal foram utilizados os seguintes equipamentos: suta dendrométrica, hipsômetro Vertex III, Transponder e fita métrica (FIGURA 5).

FIGURA 5 – EQUIPAMENTOS USADOS NO INVENTÁRIO FLORESTAL. SUTA (A), HIPSÔMETRO VERTEX III E TRANSPONDER (B) E FITA MÉTRICA (C)



FONTE: Adaptado de Elo Forte (2016 A, B); A autora (2016 C).

Os piquetes compreenderam em s diferentes índices de sombreamento arbóreo (ISA's), sendo o 13, 11, 12 e 04 com índices entre 226 e 134% e, 5, 6, 7 e 10 entre 114 e 111%.

4.2.2 Visão geral do delineamento experimental

3.2.2.2 Blocos

Para o experimento foram utilizados oito piquetes, sendo estes separados em blocos. O bloco I correspondeu aos piquetes 13, 11, 12 e 4 e o bloco II aos piquetes 5, 6, 7 e 10.

3.2.2.3 Pastejo

O pastejo foi determinado para as análises da pastagem a fim de identificar se o pastejo e o não pastejo antes ou depois da coleta poderá ter algum efeito.

4.2.2.4 Horas

Para as análises microclimáticas foram realizadas medições em três horários diferentes, sendo o primeiro horário das 8h às 10h, o segundo horário das 12h às 14h e o terceiro horário das 16h às 18h, com intervalo de uma hora para cada observação (metodologia adaptada de SOUZA, 2010). Os horários foram determinados mediante a necessidade de percorrer todos os piquetes em tempo hábil, obtendo assim em média uma hora para cada bloco. Os equipamentos eram de medição instantânea, portanto, precisava-se percorrer todos os piquetes realizando todas as medições nos pontos.

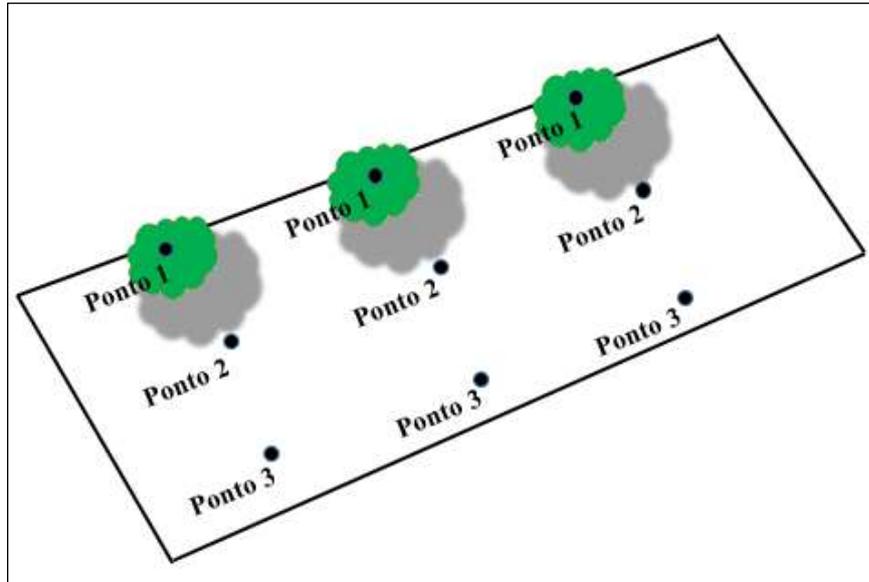
4.2.2.5 Pontos

Com os piquetes estabelecidos, os locais de registro dos dados microclimáticos dentro dos piquetes foram definidos. Os locais foram assim determinados, metragem do piquete em que se encontrava a linha das árvores foi dividida em quatro partes iguais, obtendo-se assim três posições ao longo do piquete. Estas três posições foram denominadas de “faixas” correspondentes as posições inicial, intermediária e final. Em cada faixa obteve-se os pontos de coleta, determinados em função do nível de sombreamento visual proporcionado pelo sistema silvipastoril (FIGURA 6). Os pontos foram definidos da seguinte forma:

- **Ponto 1:** sob a copa das árvores (ponto que permanece completamente a sombra durante a maior parte do dia);

- **Ponto 2:** intermediário (área que permanece em local de transição sombra e sol durante o dia);
- **Ponto 3:** a pleno sol (local que permanece em pleno sol durante todo o dia).

FIGURA 6 – FIGURA DEMONSTRANDO ESQUEMATICAMENTE OS PONTOS DE REGISTRO DOS DADOS



FONTE: A autora (2016).

As árvores foram demarcadas com fitas de tecido não tecido (TNT), como demonstrado na FIGURA 7.

FIGURA 7 – DEMARCAÇÃO DAS ÁRVORES COM FITAS DE TECIDO NÃO TECIDO (TNT)



FONTE: A autora (2016).

5 ETAPAS DA PESQUISA

As medições referentes ao microclima e a amostragem da forragem ocorreram de forma simultânea. Porém, para melhor compreensão, a pesquisa foi dividida em duas etapas, sendo elas:

- Etapa 1 – Registro dos dados microclimáticos
- Etapa 2 – Coleta dos dados da pastagem

5.1 ETAPA 1: REGISTRO DOS DADOS MICROCLIMÁTICOS

As coletas dos dados microclimáticos ocorreram durante os meses de dezembro de 2015 a julho de 2016 e setembro de 2016, totalizando nove meses.

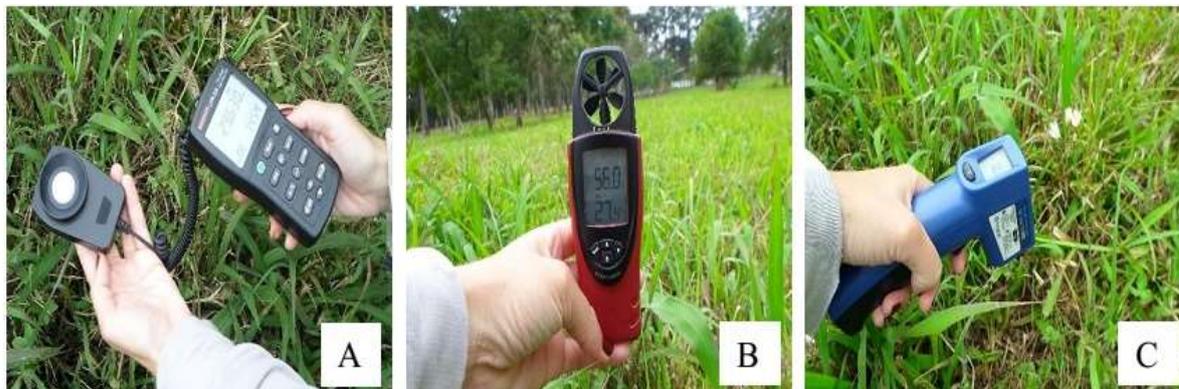
Foram registrados os dados meteorológicos do ambiente externo ao sistema, a fim de comparar com o ambiente silvipastoril. Os dados foram obtidos do Instituto Tecnológico SIMEPAR, a partir de informações da Estação Meteorológica de Pinhais (PR), localizada na Fazenda Experimental do Cangüiri – UFPR, ao lado do Centro Paranaense de Referência em Agroecologia (CPRA).

5.1.1 Definição e descrição dos procedimentos para o registro dos dados microclimáticos

As avaliações ocorreram durante um dia de cada mês e as medições microclimáticas dentro de cada piquete foram realizadas em três horários diferentes, com intervalo de uma hora para cada medição

As variáveis microclimáticas analisadas foram: iluminância (lux), temperatura do ar (°C), umidade relativa (%), velocidade do vento (m/s) e temperatura superficial do solo (°C) (FIGURA 8).

FIGURA 8 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS NO REGISTRO DOS DADOS MICROCLIMÁTICOS. LUXÍMETRO DIGITAL (A); TERMO-HIGRO-ANEMÔMETRO (B); TERMÔMETRO INFRAVERMELHO (C)



FONTE: A autora (2016).

A forma de medição de cada variável está descrita a seguir:

- **Illuminância:** foi utilizado o luxímetro digital (Modelo LDR-225 da Instrutherm) (FIGURA 9A). O sensor foi posicionado na palma da mão e colocado a altura aproximada de 20 cm do solo, que corresponde em média à altura da pastagem. A medida foi obtida esperando-se a célula do equipamento estabilizar-se com o local de coleta. Então, contou-se cinco segundos para então pressionar o botão *hold*, obtendo-se o valor observado na tela do equipamento.

- **Temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento:** as medições foram realizadas por meio do aparelho termo-higro-anemômetro (modelo ITAN 700) (FIGURA 9B). O equipamento foi posicionado na vertical e a aferição foi realizada aproximadamente a 20 cm do solo.

- **Temperatura superficial do solo:** foi realizada com a utilização do termômetro infravermelho (Modelo Instrutherm TI-870) (FIGURA 9C). A mira a laser foi direcionada para a camada superficial do solo, obtendo-se assim a temperatura superficial.

A planilha que foi utilizada em campo para o registro dos dados encontra-se no ANEXO A.

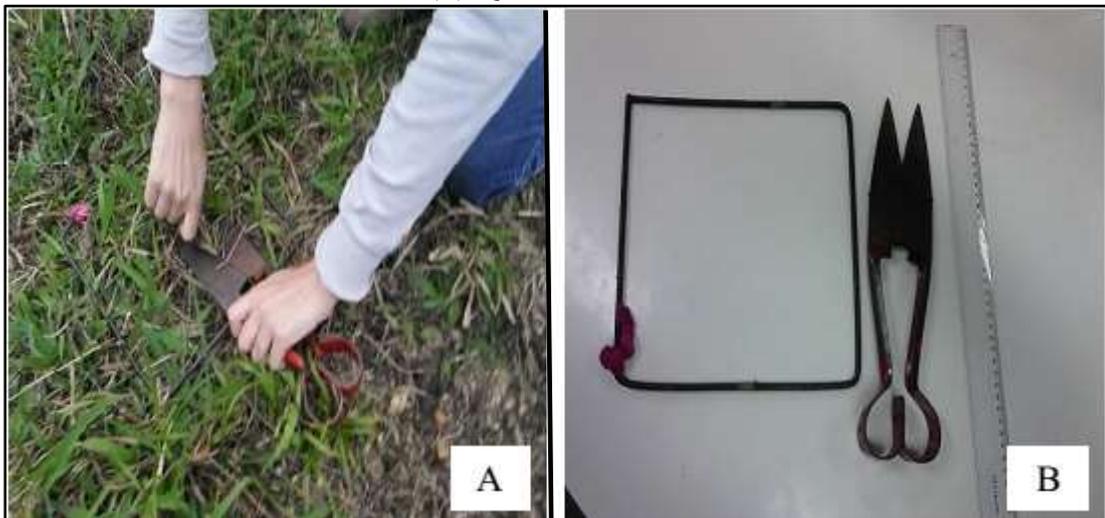
5.2 ETAPA 2: COLETAS DOS DADOS DA FORRAGEM

As coletas referentes às forragens ocorreram nos meses de dezembro de 2015 a abril de 2016 e junho, julho e setembro de 2016. Dentro de cada piquete foram coletadas nove

amostras de forragem, referentes aos pontos e faixas estabelecidos no delineamento experimental.

Para a coleta da forragem foi utilizado um quadrado metálico com dimensões de 25×25 cm lançado nos pontos e de forma aleatória. O corte da forragem foi realizado o mais próximo possível do solo com auxílio de tesoura de poda e armazenado em sacos de papel previamente identificados (FIGURA 9). Após a coleta as amostras foram pesadas para obter posteriormente a massa da matéria fresca da forragem e, em seguida, colocadas sob refrigeração para posterior análise.

FIGURA 9 – COLETA DA FORRAGEM (A); QUADRADO METÁLICO, TESOURA DE PODA E RÉGUA



FONTE: A autora (2016).

As variáveis analisadas a campo foram:

- **Altura média da planta:** medida com régua graduada em um ponto dentro do quadrado metálico, considerando as plantas com altura média observada dentro do quadrado.

As análises realizadas posteriormente a coleta foram:

- **Separação botânica:** a pastagem coletada foi separada em gramínea, leguminosas e espontâneas (espécies que não foram implantadas intencionalmente) (FIGURA 11). Após a separação de cada espécie, estas foram pesadas para a determinação da proporção em cada amostra.

FIGURA 10 – SEPARAÇÃO BOTÂNICA (GRAMÍNEAS, LEGUMINOSAS E ESPONTÂNEAS).
SEPARAÇÃO DE GRAMÍNEA E LEGUMINOSA (A); PLANTAS ESPONTÂNEAS (B)



FONTE: A autora (2016).

- **Composição botânica:** após a determinação da proporção de cada espécie (gramínea e leguminosa) existente na amostra, esta foi fracionada em: folhas (laminais foliares), colmos (pseudocolmos) e material morto (considerando o material com mais de 50% visivelmente morto) (FIGURA 12) que foram aferidos em balança e anotado o peso dos respectivos componentes, a fim de determinar a relação folha/colmo.

FIGURA 11 – SEPARAÇÃO BOTÂNICA DE GRAMÍNEA EM FOLHA, COLMO E MATERIAL MORTO



FONTE: A autora (2016).

6 ANÁLISES BROMATOLÓGICAS

As amostras para as análises bromatológicas ocorreram de dezembro de 2015 a março de 2016, totalizando-se em quatro coletas ao todo. Foram realizadas somente estas coletas, por não haver tempo hábil e disponibilidade de laboratório para a realização das análises de todos os meses de experimento.

Para a análise bromatológica da forragem foram utilizadas as mesmas amostras em que foram realizadas as separações botânicas e morfológicas. Após a separação entre gramínea e leguminosa e a separação morfológica (folha, colmo (pseudocolmo) e material morto), os componentes folha e colmo/caule de gramínea e leguminosa, separadamente, foram pesados em balança e armazenados em sacos de papel Kraft. Posteriormente, estes foram levados a estufa para iniciar os procedimentos referentes as análises bromatológicas.

Para obtenção dos dados referentes à qualidade da pastagem no sistema foi realizada a junção de todos os pontos dentro de cada faixa que corresponde ao início, meio e final dos piquetes, por exemplo, juntou-se todos os pontos sob a copa das árvores de todas as faixas.

As análises foram realizadas no Laboratório de Bromatologia da UTFPR - Câmpus Dois Vizinhos. As variáveis avaliadas foram:

- **Massa da matéria seca (MS):** primeiro foi pesado o saco de papel utilizado para secagem da amostra na estufa. Em seguida, colocou-se a amostra de forragem (gramínea ou leguminosa) e pesou-se novamente, a fim de determinar o peso verde do material coletado. Feito isso, o saco de papel com a amostra foi acondicionado na estufa de circulação de ar forçado a uma temperatura de 60 °C, deixando-se secar por aproximadamente 72 horas ou até estabilizar o peso, sendo determinada a massa de matéria parcialmente seca. Após esta etapa as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, em peneira de 1 mm. Em seguida, as amostras foram pesadas aproximadamente 2 gramas e colocadas em cadinhos de porcelana em estufa a 105° C, por aproximadamente 16 horas, para calcular o teor real de massa seca da forragem.

- **Teor de proteína bruta (PB):** a determinação da proteína bruta (PB) foi obtida em porcentagem, a partir da massa da matéria seca, pesando-se aproximadamente 0,1 g, colocando-se em tubos para a determinação do nitrogênio segundo o método Kjeldahl (AOAC, 1990). A equação para obtenção da porcentagem de proteína bruta foi segundo a AOAC (1990):

$$\text{Proteína (\%)} = \frac{(V \times f \times 0,0014 \times 6,25)}{\text{amostra (g)}} \times 100$$

Onde:

V = volume gasto de HCl 0,1N

f = fator de correção

0,0014 = miliequivalente grama do nitrogênio

6,25 = fator de conversão geral do nitrogênio em proteína

Amostra = peso da amostra em gramas

- **Fibra em detergente neutro (FDN) e Fibra em detergente ácido (FDA):** as análises foram realizadas de forma sequencial para FDN e FDA utilizando-se a metodologia de SENGHER et al. (2008) quanto ao uso da autoclave. Essa metodologia é simplificação dos procedimentos analíticos originais, sem alteração do método proposto por Van Soest. Os saquinhos de nylon utilizados no método, foram confeccionados manualmente, utilizando-se nylon de 16 micras (μ) com dimensões de 5×4 cm. O tempo e a temperatura utilizados na autoclave seguiram-se as recomendações propostas pela metodologia. A equação para a determinação da porcentagem de FDN e FDA na amostra é a seguinte:

$$\text{FDN ou FDA (\%)} = \frac{\text{PE} - (\text{T} \times \text{B})}{\text{PA}} \times 100$$

Onde:

PA = peso da amostra (gramas)

PA = Peso (g) do saquinho + resíduo (FDN ou FDA)

T = peso inicial do saquinho em gramas

B = peso final do saquinho após lavagem/peso inicial do saquinho

7 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

7.1 MICROCLIMA

Em função do delineamento experimental adotado foi necessário realizar a transformação dos dados para todas as variáveis analisadas (iluminância, temperatura superficial do solo, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento) optando pelo método Box-Cox.

O experimento foi conduzido para examinar o efeito de três fatores, A = hora do dia; B = blocos e C = nível de sombreamento; em série de variáveis de repostas climáticas y. O experimento foi dividido em $d = 9$ datas de medição. Em cada data as medições foram conduzidas em $a = 3$ horários distintos, definindo-se assim a parcela principal (pp). Cada parcela principal foi dividida em duas subparcelas, que consistem em $b = 2$ blocos (sp). Cada subparcela foi então dividida em $c = 3$ níveis de sombreamento do piquete, definindo-se assim a subsubparcela (ssp). Cada subparcela teve $r = 8$ repetições no experimento. Em cada uma das subsubparcelas ($d \times a \times b \times c \times r = 9 \times 3 \times 2 \times 3 \times 8$) as variáveis climáticas foram medidas e analisadas segundo o modelo descrito abaixo:

$$\begin{aligned}
 y_{ijklm} &= \mu + \rho_l + \alpha_i + (\rho\alpha)_{li} && \text{parcela principal (pp)} \\
 &+ \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\beta\rho)_{ijl} && \text{sub-parcela (sp)} \\
 &+ \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + (\alpha\beta\gamma\rho)_{ijklm} && \text{sub-sub-parcela (ssp)}
 \end{aligned}$$

Com:

$$I = 1, 2, \dots, d$$

$$j = 1, 2, \dots, a$$

$$k = 1, 2, \dots, b$$

$$l = 1, 2, \dots, c$$

$$m = 1, 2, \dots, r$$

μ = a média geral

ρ_l = efeito aleatório da l -ésima data de medição;

α_i = efeito fixo da i -ésima hora de medição;

β_j = efeito fixo do j -ésimo bloco;

γ_k = efeito fixo da k -ésimo nível de sombreamento;

$(\alpha\beta)_{ij}$; $(\alpha\gamma)_{ik}$ e $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = interação dos efeitos fixos descritos acima; e

$(\alpha\rho)_{li}$; $(\alpha\beta\rho)_{ijl}$ e $(\alpha\beta\gamma\rho)_{ijklm}$ são os efeitos aleatórios independentes de cada um dos três níveis de parcela com $(\rho\alpha)_{li} \sim N(0, \alpha^2_{pp})$, $(\alpha\beta\rho)_{ijl} \sim N(0, \alpha^2_{sp})$ e $(\alpha\beta\gamma\rho)_{ijklm} \sim N(0, \alpha^2_{spp})$.

Os modelos foram ajustados para cada uma das variáveis climáticas usando o *software* R (R CORE TEAM 2016) e o pacote lme4 (BATES et al., 2015). Primeiramente os dados foram ajustados por mínimos quadrados ordinários para se verificar a necessidade de transformação da variável devido a algum desvio em relação pressupostos do modelo linear.

Caso o pressuposto de Normalidade fosse quebrado procede-se a transformação Box-cox (GAUDRY; LAFERRIÉRE, 1989), onde se eleva o valor de y por uma potência (λ) qualquer. Essa operação simples realiza uma série de transformações matemáticas complexas, como segue:

- $\lambda = 2,00$: potência de 2;
- $\lambda = 1,00$: sem transformação;
- $\lambda = 0,50$: raiz quadrada;
- $\lambda = 0,33$: raiz cúbica;
- $\lambda = 0,25$: raiz a quarta;
- $\lambda = 0,00$: logaritmo natural;
- $\lambda = - 0,25$: inversa da raiz a quarta;
- $\lambda = - 0,33$: inversa da raiz cúbica;
- $\lambda = - 0,50$: inversa da raiz quadrada;
- $\lambda = - 1,00$: inversa;

Após a checagem dos pressupostos o modelo foi ajustado aos dados e os parâmetros foram estimados pelo método da máxima verossimilhança restrita.

De posse do modelo ajustado procedeu-se a construção de uma tabela de análise de variância e aplicação do teste F tipo III para os efeitos fixos do modelo. Os graus de liberdade do denominador foram obtidos usando a aproximação de Kenward-Roger.

7.2 PASTAGEM

Para a análise da forragem, o experimento também foi conduzido em parcelas subdivididas para examinar o efeito de dois fatores, B = pastejo e C = níveis de sombreamento no piquete; na série de variáveis de reposição y e medidas na pastagem do sistema silvipastoril.

O experimento foi dividido em $d = 4$ datas de medição. Em cada data as medições foram conduzidas em $b = 2$ blocos, definindo-se assim a parcela principal (pp). Cada parcela principal foi então dividida em $c = 2$ níveis de pastejo definindo-se assim a subparcela (sp). Cada subparcela teve $d = 3$ níveis de sombreamento, consistindo-se assim a sub-sub-parcela (ssp). Cada sub-sub-parcela teve $r = 8$ repetições no experimento. Em cada uma das sub-sub-parcelas ($d \times b \times c \times d \times r = 4 \times 2 \times 2 \times 3 \times 8$) as variáveis da pastagem foram medidas e analisadas segundo o modelo descrito abaixo:

$$\begin{aligned}
 y_{ijklm} = & \mu + \rho_l + \alpha_i + (\rho\alpha)_{li} && \text{parcela principal (pp)} \\
 & + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\beta\rho)_{ijl} && \text{sub-parcela (sp)} \\
 & + \gamma_k + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + (\alpha\beta\gamma\rho)_{ijklm} && \text{sub-sub-parcela (ssp)}
 \end{aligned}$$

Com:

$$I = 1, 2, \dots, d$$

$$j = 1, 2, \dots, a$$

$$k = 1, 2, \dots, b$$

$$l = 1, 2, \dots, c$$

$$m = 1, 2, \dots, r$$

μ = a média geral

ρ_l = efeito aleatório da l -ésima data de medição;

α_i = efeito fixo da i -ésimo bloco;

β_j = efeito fixo do j -ésimo nível de pastejo;

γ_k = efeito fixo da k -ésimo nível de sombreamento;

$(\alpha\beta)_{ij}$; $(\alpha\gamma)_{ik}$ e $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$ = interação dos efeitos fixos descritos acima; e

$(\alpha\rho)_{li}$; $(\alpha\beta\rho)_{ijl}$ e $(\alpha\beta\gamma\rho)_{ijklm}$ são os efeitos aleatórios independentes de cada um dos três níveis de parcela com $(\rho\alpha)_{li} \sim N(0, \alpha^2_{pp})$, $(\alpha\beta\rho)_{ijl} \sim N(0, \alpha^2_{sp})$ e $(\alpha\beta\gamma\rho)_{ijklm} \sim N(0, \alpha^2_{spp})$.

A descrição das análises seguiu o mesmo modelo de ajustes utilizados para a análise do microclima.

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

8.1 MICROCLIMA

Na TABELA 4 encontra-se a média de todos os piquetes em cada horário na área experimental e dados referentes à estação meteorológica localizada em Pinhais próxima à área experimental.

TABELA 4 – DADOS METEOROLÓGICOS MÉDIOS REGISTRADOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DO CPRA E NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PINHAIS

| Dias | Horas | Temp. ar (°C) | | Umid. relativa (%) | | Vel. vento (m s ⁻¹) | | Chuva (mm) |
|------------|-------|---------------|--------------|--------------------|--------------|---------------------------------|--------------|--------------|
| | | CPRA | Estação Met. | CPRA | Estação Met. | CPRA | Estação Met. | Estação Met. |
| 13/12/2015 | 8-10 | 33,1 | 21,8 | 52 | 80 | 0,6 | 1,0 | 0 |
| | 12-14 | 36,7 | 27,4 | 36 | 58 | 2,1 | 1,5 | 0 |
| | 16-18 | 34,3 | 27,8 | 39 | 60 | 1,2 | 1,1 | 0 |
| 26/01/2016 | 8-10 | 34,7 | 17,8 | 45 | 82 | 0,2 | 0,6 | 0 |
| | 12-14 | 38,3 | 28,9 | 36 | 58 | 0,3 | 1,6 | 0 |
| | 16-18 | 32,1 | 29,3 | 48 | 56 | 0,1 | 1,3 | 0 |
| 26/02/2016 | 8-10 | 26,3 | 20,1 | 73 | 93 | 0,1 | 1,1 | 0 |
| | 12-14 | 29,7 | 24,9 | 66 | 75 | 0,2 | 1,7 | 0 |
| | 16-18 | 29,8 | 26,0 | 61 | 74 | 0,2 | 1,5 | 0 |
| 12/03/2016 | 8-10 | 18,4 | 17,3 | 82 | 73 | 0,1 | 2,0 | 0 |
| | 12-14 | 21,4 | 23,6 | 67 | 50 | 0,1 | 1,5 | 0 |
| | 16-18 | 22,2 | 22,4 | 65 | 48 | 0,1 | 2,7 | 0 |
| 21/04/2016 | 8-10 | 28,7 | 19,0 | 57 | 92 | 0,0 | 0,4 | 0 |
| | 12-14 | 34,4 | 27,5 | 41 | 53 | 0,0 | 1,5 | 0 |
| | 16-18 | 26,1 | 27,0 | 65 | 49 | 0,2 | 1,5 | 0 |
| 08/05/2016 | 8-10 | 19,2 | 15,0 | 84 | 98 | 0,1 | 0,4 | 0 |
| | 12-14 | 23,6 | 18,7 | 68 | 82 | 0,1 | 0,7 | 0 |
| | 16-18 | 22,0 | 18,0 | 71 | 88 | 0,1 | 0,9 | 0 |
| 03/06/2016 | 8-10 | 16,5 | 11,5 | 76 | 99 | 0,0 | 0,3 | 0 |
| | 12-14 | 25,4 | 15,2 | 46 | 79 | 0,1 | 0,7 | 0 |
| | 16-18 | 17,9 | 17,5 | 64 | 65 | 0,0 | 0,5 | 0 |
| 12/07/2016 | 8-10 | 20,9 | 19,0 | 62 | 62 | 0,1 | 0,9 | 0 |
| | 12-14 | 32,9 | 24,4 | 36 | 57 | 1,0 | 1,7 | 0 |
| | 16-18 | 24,7 | 24,3 | 57 | 59 | 0,0 | 1,4 | 0 |
| 03/09/2016 | 8-10 | 15,5 | 13,2 | - | 95 | 0,4 | 0,6 | 0 |
| | 12-14 | 22,1 | 17,1 | - | 88 | 0,6 | 0,8 | 0 |
| | 16-18 | 15,8 | 15,3 | - | 100 | 0,5 | 0,6 | 15 |

FONTE: A autora (2017).

O período no qual a temperatura do ar registrada foi a mais alta referiu-se aos meses de dezembro a abril, tanto para a área experimental quanto para a estação meteorológica.

Contudo, observou-se que em grande parte dos dias e horários avaliados que a temperatura foi mais elevada na área experimental. Isso se deve à altura de registro dos dados na área que foram realizados a 0,20 m do solo, onde durante o dia a temperatura do ar próximo a superfície é maior, devido ao fluxo de radiação de ondas longas provenientes do solo (OMETTO, 1981). Outro fator topoclimático explicativo quanto à diferença da temperatura entre a estação e a área experimental é a proximidade da estação da represa e da serra, que ajudam a temperatura menor. A umidade relativa do ar na área experimental em sua maioria foi menor em relação à estação meteorológica, esse fato se justifica pelo aumento da temperatura do ar e, conseqüentemente, a redução da umidade relativa. A velocidade do vento na área experimental em comparação com a estação meteorológica foi menor em todo o período experimental, isso se deve a maior rugosidade do terreno, composta pelas árvores e edificação próximas à área, o que reduz a ação dos ventos. Observou-se que não ocorreu precipitação nas faixas de horário avaliadas para a data de coleta dos dados, exceto para o último dia de avaliação. Porém, esta não afetou o último horário de medições.

Nota-se que na área experimental as maiores temperaturas foram encontradas na faixa de horário das 12h às 14h, sendo de 38,3 °C a maior e de 21,4 °C a menor para esta faixa. Os meses mais quentes correspondem de dezembro a fevereiro, ficando em torno das temperaturas médias para a região. As temperaturas mais frias foram encontradas nos meses de junho e setembro e, as temperaturas mais amenas entre março e junho. Porém, estas foram acima das temperaturas mais recorrentes para os meses de inverno para a região. A área experimental localiza-se na região de clima Cfb com inverno de temperaturas médias de 11 °C e verão em torno de 23 °C (ALVARES et al. 2014), tendo as temperaturas da área experimental se comportado próximas às do clima local. O clima da região caracteriza-se por umidade relativa do ar em torno de 75 e 85% na média mensal (IAP, 2011). Os meses com umidade mais elevada foram entre fevereiro e julho. Todavia, na maior parte dos dias e das horas avaliadas ficaram abaixo da umidade média mensal encontrada para a região. Os registros da velocidade dos ventos em todo o período experimental ficaram abaixo de 0,6 m s⁻¹. De acordo com a escala de Beaufort (WMO, 2011), velocidades do vento entre 0,3 e 1,5 m s⁻¹ conseguem mover as folhas das árvores. Assim, as médias encontradas para velocidade do vento na área experimental estão dentro desta faixa.

8.1.1 Iluminância

Por meio dos resultados obtidos para iluminância foi encontrada a interação entre horas e pontos ($P < 0,05$). Independente dos pontos, no final do dia a iluminância foi menor em comparação ao horário de maior pico de radiação. Comparando-se os pontos de amostragem no ponto sob a copa das árvores foram obtidos os menores valores em todos os horários, conforme TABELA 5.

TABELA 5 – VALORES MÉDIOS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO) DE ILUMINÂNCIA (LUX) NOS DIFERENTES HORÁRIOS DE MEDIÇÕES E PONTOS DE MEDIÇÃO

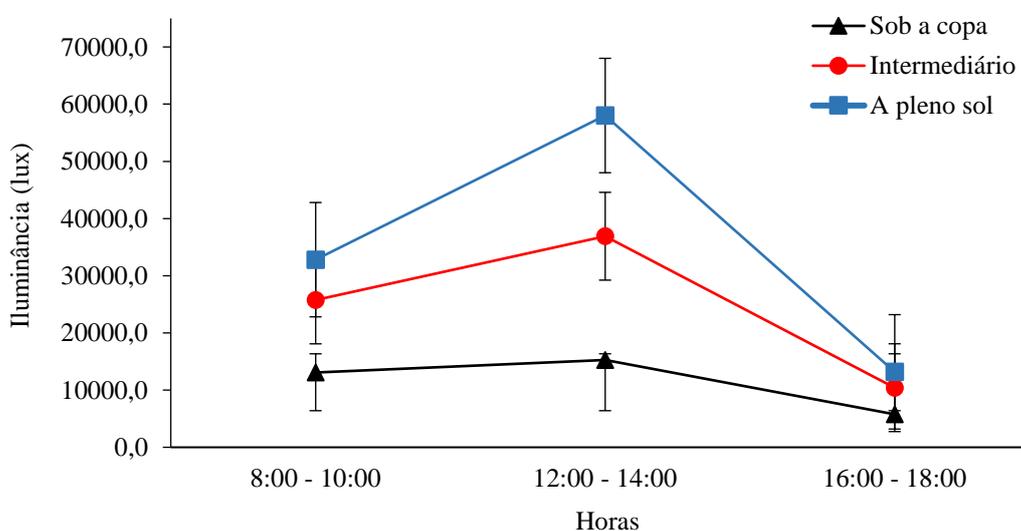
| Pontos | Horas | | |
|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| | 8 – 10 | 12 - 14 | 16 – 18 |
| Sob a copa das árvores | 13.083,0±18904,6 Cbc | 15.267,1±14896,5 Cab | 5.766,5±8398,3 Cc |
| Intermediário | 25.764,5±27070,6 ABab | 36.900,7±24471,2 Ba | 10.421,0±10445,1 Abc |
| A pleno sol | 32.807,5±31589,6 Aab | 58.015,7±37763,3 Aa | 13.197,3±14380,7 Ac |

Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: A autora (2017).

A análise de todo o período de medição mostrou diferenças entre os pontos nos horários avaliados. Nota-se que na faixa de horário das 12h às 14h apresentou diferença em todos os pontos. Observa-se que na faixa das 12h às 14h, quando ocorre o pico de radiação no dia, a diferença sob a copa das árvores e a pleno sol foi de 42.948,6 lux; e a amplitude obtida foi maior do que na faixa das 8h às 10h (19.724,5 lux) e na faixa das 16h às 18h (7.430,8 lux) (FIGURA 13).

FIGURA 12 – ILUMINÂNCIA MÉDIA OBTIDA E RESPECTIVOS ERROS-PADRÃO NOS DIFERENTES HORÁRIOS E PONTOS DE MEDIÇÕES NO SISTEMA SILVIPASTORIL AGROECOLÓGICO



FONTE: A autora (2017).

As amplitudes menores foram obtidas nas faixas de horário que compreenderam as primeiras horas do dia e ao final da tarde. Tais resultados corroboram com o estudo de Gao et al. (2013) que avaliaram a radiação fotossinteticamente ativa em sistema agroflorestal com *Maluspumila* M. (maça) associadas com *Glycinemax* L. Merr. (soja) e *Arachishypogaea* L. (amendoim) em diferentes distâncias do renque das árvores e tratamento controle com as referidas espécies em monocultura. Os autores verificaram que o pico da radiação ocorreu às 13h e o valor mínimo às 17h. Na mesma pesquisa encontraram menores valores de radiação fotossinteticamente com redução de 17,9% em 0,5 m e 10,4% em 1,5 m para o sistema com maçã e soja e, 17,8% em 0,5 m e 5,4% em 1,5 m para o sistema com maçã e amendoim em comparação com o tratamento controle.

Karki e Goodman (2010) verificaram sob a copa das árvores ao amanhecer e ao final da tarde que a radiação solar foi menor em relação às horas de maior pico observadas (11h às 14h) em um sistema silvipastoril composto por *Pinus taeda*.

Com base nestes resultados, observou-se que a copa das árvores em sistema agroecológico tem a capacidade de interceptar a radiação solar, mostrando-se eficiente na atenuação desta nas horas de maior pico de radiação durante o dia, ou seja, as árvores agem como filtros proporcionando maior nível de sombreamento. Esta característica também foi observada por Rodrigues et al. (2014) que verificaram em sistema silvipastoril de *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* que, no período das 11h às 13h em distância de um metro em relação ao renque de árvores, cujos valores de irradiância foram menores em relação ao centro das entre linhas. Paciullo et al. (2010) avaliaram sistema silvipastoril com *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis* associadas à pastagem de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk onde encontraram proporções de sombreamento de 60, 29 e 16%, sob a copa das árvores, em 6 e 12 m respectivamente em relação a pleno sol.

Não somente sob a copa das árvores a atenuação da radiação é evidente, no ponto intermediário de coleta mostrou-se que a interceptação também ocorre com o distanciamento da copa, sendo assim, esta ainda é eficiente em interceptar a radiação solar. Siles, Harmand e Vaast (2010) observaram em sistema silvipastoril composto por *Ingadensi flora* que em distâncias de um metro do tronco da árvore a radiação representou 23% em relação ao campo aberto, enquanto que obtiveram valores de 63% a três metros de distância, mostrando-se que mesmo com o distanciamento a copa interfere na interceptação da radiação.

8.1.2 Temperatura superficial do solo

Quanto à variação média da temperatura superficial do solo houve interação entre horas e pontos ($P < 0,05$). Para as faixas de horários das 8h às 10h, foram registrados sob a copa e no ponto intermediário valores baixos de temperatura superficial, enquanto que das 12h às 14h o ponto de coleta sob a copa das árvores apresentou os menores valores de temperatura superficial do solo (TABELA 6).

TABELA 6 – VALORES MÉDIOS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO) DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DO SOLO (°C) NOS DIFERENTES HORÁRIOS DE MEDIÇÕES E PONTOS DE MEDIÇÃO

| Pontos | Horas | | |
|------------------------|--------------|-------------|--------------|
| | 8 - 10 | 12 - 14 | 16 - 18 |
| Sob a copa das árvores | 17,7±4,2 Bb | 21,2±4,1Ca | 19,8±3,8 Aab |
| Intermediário | 19,3±6,4 ABb | 24,0±5,9 Ba | 20,4±4,7 Ab |
| Pleno sol | 19,6±5,8 Ab | 26,1±7,3 Aa | 21,0±4,9 Ab |

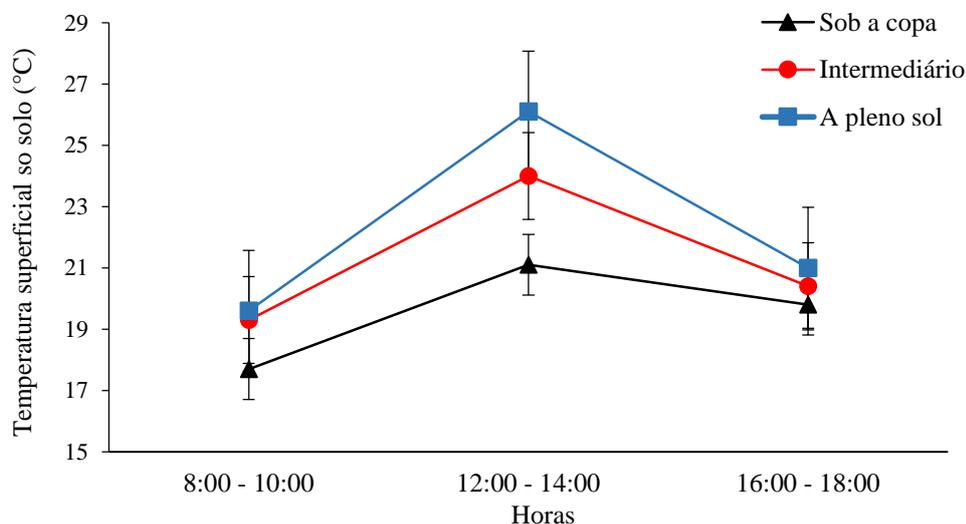
Médias seguidas de letras iguais, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: A autora (2017).

Na faixa de horário das 8h às 10h o ponto de coleta sob a copa das árvores obteve menor temperatura superficial do solo com 17,7 °C. Nesta faixa de horário que compreende as primeiras horas do dia a radiação solar é menos intensa e a diferença entre o ponto localizado sob a copa das árvores e a pleno sol dentro do piquete foi de 1,9 °C. Para o ponto intermediário de coleta dos dados não houve diferença nas médias deste para os pontos sob a copa das árvores, o que indica que a copa pode proporcionar temperaturas menores em toda a sua área de sombra.

Para a faixa das 12h às 14h, todos os pontos diferiram-se entre si. Ao longo do ano ocorrem alterações na altura máxima do sol, o que gera, portanto, variação espacial na disponibilidade da radiação solar (MONTEITH; UNSWORTH, 2013). Este fator pode ter ocasionado heterogeneidade nas amostras. A faixa das 12h às 14h encontra-se na faixa de horário que a radiação solar atinge seu pico, assim, é esperado que temperaturas superficiais médias mais elevadas sejam encontradas. Entretanto, o ponto sob a copa das árvores apresentou temperatura menor em relação aos demais pontos de coleta, com amplitude de valores entre este e o ponto de coleta intermediária de 2,8 °C. A amplitude ficou mais evidente entre o ponto sob a copa e o ponto a pleno sol dentro do piquete 4,9 °C (FIGURA 14). Na faixa de horário das 16h às 18h não houve diferença entre os pontos ($P > 0,05$).

FIGURA 13 – TEMPERATURA SUPERFICIAL DO SOLO MÉDIA E RESPECTIVOS ERROS-PADRÃO OBTIDA NOS DIFERENTES HORÁRIOS E PONTOS DE MEDIÇÕES NO SISTEMA SILVIPASTORIL AGROECOLÓGICO



FONTE: A autora (2017).

A variação da temperatura do solo ocorre de acordo com a incidência de radiação solar, tendo o valor máximo entre as 12 e 14h. Observou-se, portanto, que nesta faixa de horário as árvores foram capazes de interceptar a radiação solar e, conseqüentemente, diminuir a ação desta sobre o solo, minimizando-se as temperaturas superficiais, mostrando-se eficiente na atenuação mesmo nas horas de maior pico de radiação. Pode-se observar que a iluminância na faixa de horário das 12 às 14h sob a copa das árvores e no ponto intermediário foi menor em relação a pleno sol. O mesmo verificou-se para a temperatura do solo que nesta faixa de horário obteve os valores de temperatura superficial menores em relação a pleno sol. Wanzeler, Costa e Santos (2016) avaliaram a temperatura em solo vegetado a 2 cm de profundidade em pomar de *Mangifera indica* L, observando que a temperatura do solo atingiu valores mais elevados entre as 14h e as 15h e menores nas primeiras horas do dia.

Para interação de cada ponto nas diferentes horas do dia, o ponto sob a copa das árvores teve as temperaturas superficiais do solo das 12 às 14h e 16 as 18h. Para o ponto de coleta intermediário e a pleno sol somente foi superior estatisticamente a faixa das 12h às 14h, cujas temperaturas foram de 24 °C e 26,1 °C, respectivamente. Os dados evidenciam que sob a copa das árvores as temperaturas superficiais são menores em comparação ao horário de maior pico de radiação solar. A diferença de temperaturas encontradas nos horários avaliados entre os pontos de coleta sob a copa das árvores e o ponto intermediário foi devido a eficiência das árvores na interceptação da radiação solar pela copa, bem como pode estar associada com a

diversidade de espécies encontradas na área, o que pode ocasionar diferentes áreas de copas. Guevara-Escobar et al. (2007), avaliando sistema com Álamo (*Populus* spp) e pastagem em área adjacente encontraram temperaturas menores em áreas arborizadas com 19,9 °C do que áreas em monocultura com 20,2 °C.

Observou-se que os valores de iluminância para a faixa de horário das 12h às 14h foram diferentes em todos os pontos avaliados, ao mesmo passo que os valores de temperatura superficial também foram diferentes para os mesmos pontos. Notou-se que com o aumento da radiação solar, a temperatura superficial do solo acompanhou tal comportamento. Outro aspecto a ser notado é que a iluminância sob a copa das árvores nas diferentes faixas de horário avaliadas não apresentou desigualdade entre as primeiras horas do dia e o pico de radiação. Porém, os valores de temperatura superficial do solo foram diferentes, evidenciando assim que a sombra proporcionada pela copa das árvores minimizou as temperaturas superficiais do solo.

Ehret, Graß; Wachendorf (2016) avaliando um sistema agroflorestral composto por diferentes espécies arbóreas a um metro de distância do renque das árvores e a pleno sol encontraram temperaturas a 5 cm de profundidade no solo de 15,8 °C enquanto que a pleno sol foi de 16,2 °C. Eles observaram que no sub bosque a densidade de fluxo de fótons era menor em relação a pleno sol, o que diminui a temperatura do solo, evidenciando-se os dados encontrados no presente estudo.

Outro fato importante na minimização da temperatura superficial do solo é a cobertura vegetal. Na área experimental avaliada sob sistema agroecológico, em que se preconiza a diversidade de espécies e assim podem-se encontrar diferentes alturas de dosséis forrageiros, a luz incidente encontra barreiras até a superfície do solo. Em todos os pontos sob a copa, o solo encontrava-se coberto por vegetação o que diminui ainda mais a ação direta da luz sobre este. Feldhake, Glenn e Peterson (1996), analisaram festuca (*Festuca arundinacea* Schreb) e encontraram temperaturas superficiais do solo superiores no período das 10 às 14h em relação aos horários mais próximos do amanhecer e do final do dia, com aumento linear de temperatura encontrado de acordo com a acumulação da energia solar para a faixa de horário avaliada.

8.1.3 Temperatura do ar

Para a variável temperatura do ar não houve interação entre os fatores horas e pontos. Porém, como fatores isolados, estes foram significativos ($P < 0,05$). Para as faixas de horários avaliadas, a temperatura foi maior a partir das 12 horas, e para os pontos avaliados a menor temperatura encontrou-se sob a copa das árvores, mas estes não diferiram da faixa intermediária (TABELA 7).

TABELA 7 – ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO, MÍNIMA, MEDIANA E MÁXIMA) PARA A TEMPERATURA DO AR (°C) OBTIDAS NOS DIFERENTES HORÁRIOS E PONTOS DE MEDIÇÕES

| | Horas | | | | | Pontos | | | |
|---------|------------|------|------|------|---------------|-------------|------|------|------|
| | Média | Mín. | Med. | Máx. | | Média | Mín. | Med. | Máx. |
| 8 - 10 | 23,6±7,1 b | 14,2 | 28,8 | 39,0 | Sob a copa | 25,9±7,1 b | 14,2 | 25,0 | 41,6 |
| 12 - 14 | 29,4±6,7 a | 18,5 | 28,9 | 42,0 | Intermediário | 26,0±7,1 ab | 14,2 | 25,1 | 41,7 |
| 16 - 18 | 25,0±6,1 b | 14,1 | 24,7 | 38,9 | A pleno sol | 26,1±7,1 a | 14,1 | 25,3 | 42,0 |

Médias seguidas de letra iguais na coluna não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: A autora (2017).

Observou-se que a amplitude de valores foi maior entre a faixa das 8h às 10h e 12h às 14h, com 5,8 °C, do que entre as faixas de horário das 12h às 14h e 16h às 18h, com 4,4 °C. A amplitude maior entre as primeiras horas avaliadas e o pico de radiação no dia deve-se ao fato de que a temperatura do ar aumenta linearmente com a radiação solar. A temperatura na superfície da Terra é determinada pela quantidade de energia radiante que recebe do Sol (ondas curtas) e radiação terrestre (ondas longas) (GUREVITCH; SCHEINER; FOX, 2009). Portanto, este fato pode explicar o aumento da temperatura no horário das 12h às 14h, com 29,4 °C e redução no decorrer do dia no horário 16h às 18h, com 25,0 °C.

Lopes et al. (2016) avaliaram a temperatura do ar em dois períodos do dia (manhã e tarde) sob a copa das árvores, dentro do piquete a pleno sol e entre os renques em sistema silvipastoril composto por *Eucalyptus* ssp consorciados com *Brachiaria brizantha* cv Piatã e em pastagem adjacente composto pela mesma espécie forrageira. Os autores encontraram médias de 30,8 °C (manhã) e 34,7 °C (tarde) sob a copa das árvores e valores de 33,9 °C (manhã) e 37,6 °C (tarde) a pleno sol dentro do piquete. Nota-se que os valores obtidos pelos autores acompanham a mesma variação encontrada neste trabalho, em que na faixa de horário das 8h às 10h sob a copa das árvores e a pleno sol a temperatura foi menor, com 23,5 °C e 25,0 °C respectivamente, em relação ao horário das 12 às 14h, que obteve 29,4 °C. Murgueitio et al. (2011) avaliaram sistemas silvipastoril com mangueiras e pastagem sem árvores e encontraram temperaturas no sistema silvipastoril no mês mais quente da região estudada cerca de 14 °C em média mais baixa que a pleno sol.

Na análise dos pontos observou-se que houve diferença de 1,4 °C sob a copa das árvores em relação ao pleno sol. Sob a copa das árvores a iluminância foi menor em relação a pleno sol, o que consequentemente reduz a ação da radiação no aumento de temperaturas do ar. Portanto, os valores de temperatura esperados e encontrados por este trabalho foram menores em relação ao pleno sol. Shapo e Adam (2008) avaliaram *Acacia stenophylla* consorciadas com

culturas onde observaram que as temperaturas do ar foram 1,7 °C menores a pleno sol ao mesmo tempo em que verificaram redução de 37% na radiação solar comparadas ao controle.

8.1.4 Umidade relativa do ar e velocidade do vento

Não houve interação entre horas e pontos para umidade relativa do ar (%) e velocidade do vento ($m s^{-1}$). Porém, foi observado efeito das horas nas referidas variáveis ($p < 0,05$) (TABELA 8).

TABELA 8 – VALORES MÉDIOS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO) NOS DIFERENTES HORÁRIOS DE MEDIÇÕES PARA VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS DE UMIDADE RELATIVA DO AR (UR %) E VELOCIDADE DO VENTO ($M S^{-1}$) EM TODO O PERÍODO EXPERIMENTAL

| Variáveis | Horários | Média | Mínima | Mediana | Máxima |
|------------------------|----------|------------|--------|---------|--------|
| Umidade relativa do ar | 8 - 10 | 66±16 a | 32 | 69 | 89 |
| | 12 - 14 | 49±16 c | 20 | 49 | 89 |
| | 16 - 18 | 59±11 bc | 30 | 62 | 79 |
| Velocidade do vento | 8 - 10 | 0,2±0,4 bc | 0 | 0,0 | 3,7 |
| | 12 - 14 | 0,5±1,0 a | 0 | 0,1 | 5,7 |
| | 16 - 18 | 0,2±0,6 c | 0 | 0,0 | 4,7 |

Médias seguidas de letra iguais na coluna para cada variável, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

FONTE: A autora (2017).

Observou-se que para umidade relativa do ar a menor média ficou entre 8 às 10h e em relação aos demais. No período da manhã a umidade atingiu média de 66%, com redução no horário das 12h às 14h e aumento no horário das 16h às 18h, com 49% e 59% respectivamente. Houve redução de 17% no valor de umidade para o horário das 12h às 14h e de 10% para o horário das 16h às 18h em relação à maior umidade encontrada na faixa de horário que corresponde às primeiras horas do dia. Araújo et al. (2016) avaliando consórcio de seringueira (*Hevea Brasiliensis*) e café (*Coffea canephora*) em área adjacente com monocultura do café encontraram valores de umidade relativa do ar de 89,5% nas áreas sombreadas pelas árvores às 7:40h. O mesmo pode ser constatado pelo presente estudo, em que o maior valor de umidade relativa do ar foi verificado no período da manhã.

Baliscei et al. (2013) ao avaliaram sistema silvipastoril com eucalipto e tratamento sem sombra durante o verão e inverno encontraram efeito da hora do dia nos valores de umidade relativa do ar com 54,8% para sistemas silvipastoril e 54,6% em sistemas sem árvores às 14h.

Estes valores foram maiores quando comparados ao presente trabalho para a faixa de horários das 12h às 14h.

A velocidade do vento foi menor nas primeiras horas, das 8 às 10h, e ao entardecer, das 16h às 18h, comparados ao horário de maior pico de radiação solar e temperatura, das 12h às 14h. Na faixa de horário das 12h às 14h obteve-se média de $0,5 \text{ m s}^{-1}$, com acréscimo de $0,3 \text{ m s}^{-1}$ em relação à faixa de horário das 8h às 10h e das 16h às 18h. A velocidade do vento encontrada para o horário das 12h às 14h pode ser explicada pela diferença entre as áreas sombreadas e a pleno sol – o que pode ocasionar um gradiente horizontal de temperatura que provoca aquecimento distintos entre sombra e sol, gerando localmente brisas advectivas –, e também à possíveis centralizações do vento pelos renques (PORFIRIO-DA-SILVA, 1998).

Os valores diferentes dos demais estudos, tanto de velocidade do vento quanto para umidade relativa do ar, pode ser explicado pelas diferenças de espécies arbóreas utilizadas e propósito de cada área nos referidos trabalhos citados. Os autores utilizaram espécies diferentes para compor o sistema ou espécie única, as quais eram manejadas para produção de gado ou para posterior produção madeireira. A área experimental avaliada possui grande heterogeneidade arbórea e objetivos distintos como proporcionar conforto para os animais, melhorar a qualidade forrageira e atender os preceitos agroecológicos de diversidade de espécies (SCHROTH et al., 2004). Portanto, variações entre árvores em diâmetro de altura de peito, bem como área de copa e altura de inserção podem ocasionar essas diferenças.

8.2 AVALIAÇÃO DA FORRAGEM

Na TABELA 9 encontra-se a média dos horários avaliados em todos os piquetes, referente aos dias de coleta da forragem.

TABELA 9 – DADOS METEOROLÓGICOS MÉDIOS REGISTRADOS NA ÁREA EXPERIMENTAL DO CPRA DURANTE O PERÍODO DO ESTUDO

| Dias de coleta | Temp. ar (°C) | Umid.relativa (%) | Vel. vento (m s^{-1}) | Chuva (mm) |
|----------------|---------------|-------------------|----------------------------------|------------|
| 13/12/2015 | 34,7 | 42,3 | 1,3 | 0 |
| 26/01/2016 | 35 | 43 | 0,2 | 0 |
| 26/02/2016 | 28,6 | 66 | 0,1 | 0 |
| 12/03/2016 | 20,6 | 71 | 0,1 | 0 |

Temp. ar = temperatura do ar; Umid. Relativa = umidade relativa do ar; Vel. Vento = velocidade do vento

FONTE: A autora (2017).

Observa-se que a média das temperaturas do ar nos dias avaliados foi mais elevada em relação à média climatológica da região, que é de 23 °C. Segundo Alvares et al. (2014), a região caracteriza-se por umidade relativa do ar em torno de 75 e 85% na média mensal (IAP, 2011). Com isso, a umidade nos meses avaliados ficou abaixo da encontrada para a região, sendo que nos dois primeiros meses de avaliação, os valores foram mais baixos (TABELA 9). De acordo com a escala de Beaufort (WMO, 2011) a velocidade do vento encontrada na área experimental está dentro da faixa de ar leve, ou seja, consegue movimentar ligeiramente as folhas das árvores com ventos entre 0,3 e 1,5 m s⁻¹.

A pastagem encontrada no sistema silvipastoril agroecológico estudado é composta por plantas leguminosas e gramíneas, a qual de acordo com LARCHER (2006) tem sua temperatura ótima para seu desenvolvimento e produção entre 10 a 20 °C, e 30 a 40 °C, respectivamente. De modo geral, as temperaturas do ar nos meses de avaliação para a pastagem se encontraram dentro desta faixa. Van Soest (1994) relatou que o aumento de temperatura no ambiente diminui a proteína da planta. Este fato foi observado neste estudo, em que as plantas a pleno sol obtiveram valores menores de proteína comparados as plantas que se encontravam sob a copa das árvores. A velocidade média dos ventos ficou abaixo de 1,3 m s⁻¹, o que pode ser devido a ação das árvores como quebra-ventos (BAHAMOND et al., 2012). Esta intensidade encontrada caracteriza-se como ar leve, ou seja, não foram suficientes para ocasionar injúrias a planta limitando sua produção (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). A qualidade e quantidade de luz podem determinar alterações na morfologia das plantas como relação folha/colmo. O sombreamento proporcionado pelas árvores modificou esta relação, assim como a proporção de folhas que será discutido adiante.

8.2.1 Composição botânica

Os resultados obtidos neste trabalho mostraram que somente as proporções de leguminosa e espontânea apresentaram significância entre os pontos. Porém, não foi obtida interação entre pontos e a ação do pastejo sob os mesmos, apenas pontos como fator isolado foram significativos (P<0,05) (TABELA 10).

TABELA 10– VALORES MÉDIOS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO) DA ALTURA (CM) DAS FORRAGENS E DAS PROPORÇÕES (%) DE GRAMÍNEA, LEGUMINOSA, MATERIAL MORTO E ESPONTÂNEAS NOS DIFERENTES PONTOS DE MENSURAÇÃO

| Pontos | Altura | Gramíneas | Leguminosa | MM | Espontâneas |
|------------------------|-----------|------------|-------------|------------|--------------|
| Sob a copa das árvores | 11,3±5,4* | 23,8±14,8* | 2,4±7,3 c | 18,4±16,2* | 55,6±21,3 a |
| Intermediário | 13,2±6,1* | 32,0±18,2* | 7,9±12,8 b | 20,1±15,2* | 40,4±23,5 bc |
| A pleno sol | 12,9±6,1* | 28,9±16,9* | 9,0±14,2 ab | 21,7±15,4* | 40,3±22,3 c |

Médias seguidas de letra iguais na coluna para cada variável, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * não significativo ($P>0,05$)

FONTE: A autora (2017).

Para a proporção de leguminosa, o ponto de coleta sob a copa das árvores e os demais pontos foi inferior às demais. Houve superioridade deste a pleno sol. Isso pode ter ocorrido devido à competição entre as outras espécies por recursos naturais, como luz, nutrientes e água. Esta condição pode estar associada ao pastejo pelos bovinos que, de modo geral, tem preferência por gramíneas do que por leguminosas (HODGSON, 1990). As gramíneas na área experimental podem apresentar maior palatabilidade devido ao manejo do pasto pelo sistema PRV, que preconiza que isto ocorra quando a planta atingir seu máximo crescimento e, portanto, melhor qualidade nutricional (VOISIN, 1981), especialmente na época avaliada de dezembro de 2015 a março de 2016, que correspondem ao verão.

Andrade et al. (2004), avaliaram diferentes níveis de sombra sobre a produção de dois genótipos de *A. pintoi*. Nessa avaliação os autores observaram que no maior nível de sombreamento (70%) as leguminosas apresentaram crescimento muito reduzido, apesar de o período avaliado ser a estação seca em que normalmente o desempenho destas é menor.

Um ponto importante que pode ter contribuído para maior proporção de leguminosa no ponto intermediário e a pleno sol é o fato de que o consumo dos animais pode ser influenciado por alguns fatores relacionados à estrutura do dossel forrageiro, dentre eles a facilidade de apreensão e colheita da forragem durante o pastejo (REIS; SILVA, 2006). As espécies de leguminosas encontradas mais facilmente na área experimental foram amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) e trevo (*Trifolium*), as quais se desenvolveram em hábito rasteiro.

Outro fator que deve ser levantado em consideração é que o sistema silvipastoril agroecológico do presente estudo foi implantado há mais de dez anos e, portanto, há um equilíbrio natural entre as espécies de ocorrência, podendo ter levado a uma maior adaptação das espécies verificadas, principalmente as gramíneas, por terem maior habilidade e serem mais agressivas no processo de implantação e rebrota.

Na proporção de espontâneas houve diferença entre o ponto de coleta sob a copa e os demais pontos avaliados. Ferreira (2012) avaliou as espécies arbóreas de Bracatinga (*Mimosa scabrella*) na mesma área experimental deste estudo e encontrou menor frequência de espontâneas a pleno sol, com 5,13%, do que sob sombreamento das árvores com 21,39%. No presente estudo pode ser observada maior proporção de espontâneas sob a copa das árvores com 55,6% e do que a pleno sol com 40,3%.

De acordo com Coelho et al. (2014), as espécies espontâneas apresentam agressividade, tratando-se de característica típica de plantas pioneiras. As espontâneas encontradas no presente estudo são plantas que naturalmente ocorreram na área e também estão mais adaptadas às condições microclimáticas impostas pelo sistema silvipastoril estudado.

O sistema silvipastoril pode proporcionar aumento dos nutrientes do solo devido à queda das folhas e galhos das árvores (ALTIERI, 2012). Baah-Acheamfour et al. (2015), avaliaram sistemas agroflorestais, incluindo o sistema silvipastoril, onde verificaram que o estoque de nitrogênio no solo sob a influência das árvores aumentaram $2,7 \text{ mg ha}^{-1}$ em média nas camadas 0-10 cm de profundidade. Slazak et al. (2014), avaliaram a concentração de fósforo orgânico no solo de sistema silvipastoril com *Malus domestica* L. (maça) e *Dactylis glomerata* em comparação a terras agricultáveis, sem a presença do componente arbóreo. Nessa ocasião, os autores encontraram redução de 8% a 17% de fósforo orgânico, nas áreas sem a presença das árvores, demonstrando assim a eficiência do sistema para acumular nutrientes no solo. Silva et al. (2008), encontraram teores de matéria orgânica no solo de 11,69 e $7,77 \text{ g kg}^{-1}$ comparando vegetação nativa (Cerrado) e preparo convencional do solo respectivamente. A temperatura do solo também pode influenciar diretamente na mineralização dos nutrientes. De acordo com Fekete et al. (2016), altas temperaturas superficiais do solo e redução da umidade interferem nos processos de decomposição da serapilheira e também reduzem a atividade microbiana na reciclagem dos nutrientes. No presente estudo as temperaturas superficiais do solo foram menores sob a copa das árvores ($21,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$) do que a pleno sol ($26,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$) no horário de maior pico de radiação. Portanto maiores teores de nutrientes encontrados sob a influência do componente arbóreo associado à ação das árvores sobre a redução de temperatura do solo podem indicar a adaptação e o favorecimento dessas espécies pioneiras no local.

8.2.2 Componentes botânicos

Para os componentes botânicos, as proporções de folha de gramínea e relação folha/colmo apresentaram influência entre os pontos. Porém, sem interação entre pontos e

pastejo sob os mesmos. Os pontos como fator isolado foram significativos ($P < 0,05$) conforme a TABELA 11.

TABELA 11– VALORES MÉDIOS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO) DAS PROPORÇÕES (%) DE FOLHA, COLMO, MATERIAL MORTO (MM) E RELAÇÃO FOLHA/COLMO (F/C) DAS GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS NOS DIFERENTES PONTOS DE MENSURAÇÃO

| Pontos | Gramíneas | | | | Leguminosas | | | |
|------------------------|--------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-----------|----------|
| | Folha | Colmo | MM | F/C | Folha | Colmo | MM | F/C |
| Sob a copa das árvores | 39,5±19,4 a | 21,5±14,5* | 38,6±23,8* | 4,4±11,4 a | 11,5±23,4* | 14,4±27,1* | 2,3±10,2* | 0,2±0,5* |
| Intermediário | 36,4±17,2 bc | 20,0±14,0* | 34,5±21,8* | 3,5±8,0 bc | 17,5±23,2* | 26,4±31,1* | 3,1±10,4* | 0,3±0,4* |
| A pleno sol | 32,5±16,0 c | 20,7±15,0* | 37,7±24,0* | 3,8±7,8 c | 18,5±23,1* | 26,0±30,3* | 2,5±8,8* | 0,3±0,5* |

Médias seguidas de letra iguais na coluna para cada variável, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * não significativo ($P > 0,05$)

FONTE: A autora (2017).

Para as proporções de folha e relação folha/colmo de gramínea houve maior média sob a copa das árvores em relação aos demais pontos.

A maior proporção de folhas de gramíneas obtidas como resposta neste trabalho para o ponto de coleta sob a copa das árvores se deve a menor incidência de luz direta no espaço abaixo das copas. Segundo Taiz e Zeiger (2013), esta condição de ambiente sombreado sinalizada à planta que promove série de atividades relacionadas, das quais o estímulo para multiplicação e diferenciação de células que formam as folhas é maior do que para forma outras partes. Tal resposta está diretamente relacionada à produção fotossintética, uma vez que, apesar da planta realizar fotossíntese com luz difusa, devido às constituintes clorofila a e clorofila b, a necessidade de garantir sua sobrevivência com maior produção de fotoassimilados faz com que emergjam mais folhas proporcionalmente, como pode ser comprovado pelos resultados anteriormente apresentados. Dentro deste contexto, também eleva a relação folha/colmo devido à elevação na proporção de folhas em relação a de colmos, para os mesmos pontos. Essas respostas vão de encontro às observações realizadas por Pilau et al. (2015), com o incremento na proporção de folhas de azevém sob condições de sombra proporcionadas pelo angico-vermelho em sistema silvipastoril. Entre as modificações ocasionadas pelo sombreamento, Kephart e Buxton (1993) relataram que o número de folhas e a relação folha/colmo são mudanças nas características morfológicas sob o efeito de sombreamento.

Para o ponto intermediário, a resposta observada foi similar a ocorrida no ponto a pleno sol. Esses dois pontos acabam se relacionando, pois, o ponto intermediário apresenta alteração na sombra produzida pela copa das árvores, tanto ao longo dos dias como ao longo dos meses,

promovendo então, momentos de sol pleno e momentos de luz difusa, mas em condições de permitir um estímulo de desenvolvimento normal.

Soares et al. (2009) afirmaram que quando o ambiente oferece luminosidade reduzida as folhas podem se tornar maiores, mais tenras e estioladas, o que caracteriza mecanismos adaptativos e competitivos por radiação. Os mesmos autores avaliando diferentes espécies forrageiras em diferentes níveis de luminosidade proporcionados por árvores de *Pinus taeda*, em dois arranjos, observaram que na maioria das espécies avaliadas a relação folha/colmo foi maior sob a copa das árvores com 2,26 que a pleno sol 1,47, aumento decorrente do sombreamento proporcionado pelas árvores.

No presente trabalho as avaliações de iluminância, ou seja, a quantidade de luz que chega sob o dossel forrageiro, foi menor para este ponto de avaliação, mesmo em se tratando de todo período experimental (TABELA 5) com as quantidades de luz de 13.083,0; 15.267,1 e 5.766,5 lux. Estes pontos foram os mesmos em que a relação folha/colmo foi maior, corroborando com o estudo anterior. Beudet et al. (2011) relataram que a copa das árvores pode influenciar na densidade de fluxo de fótons, o que pode ocasionar, nos sistemas silvipastoris, uma mudança sob a copa e influir diretamente o desenvolvimento do sub-bosque.

8.2.3 Análises Bromatológica

Para a massa de matéria seca e proteína bruta não foi verificada interação significativa entre pontos de coleta e pastejo. Somente houve influência dos pontos como fator isolado sobre estas variáveis ($P < 0,05$) (TABELA 12).

TABELA 12 – VALORES MÉDIOS (MÉDIA±DESVIO-PADRÃO) DE MATÉRIA SECA (MS%), PROTEÍNA BRUTA (PB%), FDN (%) E FDA (%) DE GRAMÍNEAS E LEGUMINOSAS NOS DIFERENTES PONTOS DE MEDIÇÃO

| Pontos | Gramíneas | | | | Leguminosas | | | |
|------------------------|--------------|------------|------------|------------|-------------|----------|------------|------------|
| | MS | PB | FDN | FDA | MS | PB | FDN | FDA |
| Sob a copa das árvores | 53,3±19,2 a | 5,9±2,5 a | 62,9±27,8* | 38,5±18,6* | 14,0±27,1* | 2,0±4,4* | 11,3±24,1* | 9,0±19,4* |
| Intermediário | 43,7±27,1 bc | 4,7±3,1 bc | 57,2±33,8* | 36,5±23,1* | 21,0±30,4* | 3,4±5,0* | 17,0±28,3* | 13,1±22,0* |
| A pleno sol | 46,5±28,0 ab | 4,9±3,0 ab | 56,1±33,1* | 35,8±22,5* | 27,5±32,3* | 4,3±5,2* | 21,0±28,1* | 17,1±23,1* |

Médias seguidas de letra iguais na coluna para cada variável, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * não significativo ($P > 0,05$)

FONTE: A autora (2016).

A massa de matéria seca de gramínea aumentou no ponto sob a copa das árvores e a pleno sol. A maior massa de matéria seca observada neste estudo refere-se ao incremento das folhas e da relação folha/colmo no ponto sob a copa das árvores que podem ser observadas na TABELA 11.

Sousa et al. (2010), avaliando a qualidade da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema com a presença da espécie arbórea *Myracrodruon urundeuva* (aroeira), observaram que as condições ambientais como temperatura e umidade impostas pelo sub-bosque da espécie reduziu a produção de massa de matéria seca com nível de 25,8% sob sombreamento e 29,4% em pastagem a pleno sol.

Para proteína bruta se observou que o valor foi maior sob a copa das árvores e a pleno sol. A produção de folhas em maior proporção incrementa diretamente o teor de proteína bruta, uma vez que, ao se obter crescimento de folhas, tem-se também produção de organelas como cloroplastos, mitocôndrias, células, bem como enzimas de origem proteicas que fazem parte do metabolismo, que apresentam na sua estrutura química o radical nitrogenado (MARENCO; LOPES, 2009) parte que é mensurada para cálculo da proteína bruta.

Barro et al. (2008) avaliaram diferentes níveis de sombreamento em sistema com *P. elliottii*, no cultivo de azevém, aveia branca e aveia-preta e encontraram diferenças no teor de proteína bruta na condição de sombra fraca (333 árvores/ha) com maior teor de proteína bruta (9,9%) em relação às plantas mantidas a pleno sol (8,9%) no ano de 2006. Buergler et al. (2006) ao pesquisar sistema silvipastoril composto por *Juglans nigra* L. e *Gleditsia triacanthos* L. associadas a pastagem de festuca relataram que com o aumento da densidade das árvores na área a proporção de proteína bruta avaliada na pastagem aumentou 10 g kg⁻¹. Radomski; Ribaski (2012) avaliaram sistema silvipastoril com *Grevillea robustae* pastagem de *Brachiaria brizantha* e observaram teores de nitrogênio mais elevados em pastagem mais próximas das árvores. Estes autores relatam que os teores foram influenciados pela posição em relação às árvores.

9 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos através da pesquisa, pode-se afirmar que as árvores do sistema silvipastoril agroecológico influenciaram nas variáveis de iluminância e temperatura do solo modificadas pelo nível de sombreamento. A temperatura do ar foi modificada tanto pelo nível de sombreamento quanto nas horas avaliadas. A umidade do ar e velocidade do vento foram diferentes nas horas mensuradas.

As árvores interceptaram a radiação solar incidente e, portanto, influenciaram nas características de iluminância, temperatura do solo e temperatura do ar sob a copa das árvores comparadas ao pleno sol dentro do piquete. As mudanças foram mais evidentes sobre a iluminância e temperatura do solo, principalmente nas horas mais quentes do dia.

Os níveis de sombreamento proporcionado pela copa das árvores influenciaram as proporções de leguminosas e espontâneas na área. Foram observadas maiores proporções de espontâneas sob a copa das árvores, o que indica uma maior adaptabilidade dessas espécies ao ambiente sombreado.

A interceptação da radiação ocasionada pela copa das árvores influenciou a composição botânica da gramínea. Maiores proporções de folha e maior relação folha/colmo foram obtidas sob sombreamento, assim como maior matéria seca e proteína bruta, mostrando que o sombreamento melhora a qualidade das gramíneas.

REFERÊNCIAS

- AINSWORTH, J. A. W.; MOEA, S. R.; SKARPE, C. Pasture shade and farm management effects on cow productivity in the tropics. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 155, p.105-110, 2012.
- ALTIERI, M. **Agroecologia**: A dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 5. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2008. 120p.
- ALTIERI, M. **Agroecologia**: Bases científicas para uma agricultura sustentável. 3. ed. São Paulo: Rio de Janeiro Expressão Popular, 2012, 400p.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. de M.; SPAROVEL, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ANDRADE, C. M. S. de; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O. G.; SOUZA, A. L. de. Desempenho de Seis Gramíneas Solteiras ou consorciadas com o *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão e Eucalipto em Sistema Silvipastoril. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 32, n. 6, p. 1845-1850, 2003.
- ANDRADE, C. M. S.; VALENTIM, J. F.; CARNEIRO, J. C.; VAZ, F. A. Crescimento de gramíneas e leguminosas forrageiras tropicais sob sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 39, n. 3, p. 263-270, 2004.
- ANDRADE, J.; BASCH, G. Clima e estado do tempo: Fatores e elementos do clima. Classificação do clima. In: SHAHIDIAN, S.; GUIMARÃES, R. C.; RODRIGUES, C. M. (Ed.). **Hidrologia Agrícola**. ICAAM-ECT, Universidade de Évora. p. 23-80, 2012.
- ARAÚJO FILHO, J. A. de. **Manejo pastoril sustentável da caatinga**. Recife: Projeto Dom Helder Câmara, 2013, 200p.
- ARAÚJO, A. V. PARTELLI, F. L.; OLIOSI, G.; PEZZOPANE, J. R. M. Microclimate, development and productivity of robusta coffee shaded by rubber trees and at full sun. **Revista Ciência Agronômica**. v. 47, n. 4, p.700-709, 2016.
- ASSIS, R. L. de. **Agroecologia no Brasil**: Análise do processo de difusão e perspectivas. 169f. Tese (Doutorado) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. **Official methods of analysis**. 15. ed. Washington D.C., 1990. 1441p.
- BAAH-ACHEAMFOUR, M.; CHANG, S. X.; CARLYLE, C. N.; BORK, E. W. Carbon pool size and stability are affected by trees and grassland cover types within agroforestry systems of western Canada. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 213, p. 105-113, 2015.
- BALISCEI, M. A.; BARBOSA, O. R.; SOUZA, W. de; KRUTZMANN, A.; QUIEROZ, E. de O. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 35, n. 1, p. 49-56, 2013.

- BARRO, R. S.; SAIBRO, J. C de; MEDEIROS, R. B. de; SILVA, J. L. da S.; VARELLA, A. C. Rendimento de forragem e valor nutritivo de gramíneas anuais de estação fria submetidas a sombreamento por *Pinus elliottii* e ao sol pleno. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 37, n. 10, 2008.
- BATES, D.; MÄCHLER, M.; BOLKER, B.; WALKER, S. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**. v. 67, p. 1-48, 2015.
- BEAUDET, M.; HARVEY, B. D.; MESSIER, C.; COATES, K. D.; POULIN, J.; KNEESHAW, D. D.; BRAIS, S.; BERGERON, Y. Managing under story light conditions in boreal mixed woods through variation in the intensity and spatial pattern of harvest: A modelling approach. **Forest Ecology and Management**. v. 261, p. 84-94, 2011.
- BEHAMONDE, H. A.; PERI, P.L.; ÁLVAREZ, R.; BARNEIX, A. Producción y calidad de gramíneas en un gradiente de calidades de sitio y coberturas en bosques de *Nothofagus antarctica* (G. Forster) Oerst. en Patagonia. **Ecologia Austral**. v. 22, p. 62-73, 2012.
- BEHLING NETO, A. **Caracterização da forragem de capim-piatã e do microclima em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta, com dois arranjos de árvores de eucalipto**. 2012. 66f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Agronomia, Medicina Veterinária e Zootecnia, Cuiabá, 2012.
- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. Modelos de ajuste para médias de temperatura do solo em diferentes profundidades. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 1, n. 1, p. 95-99, 1993.
- BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas Silvopastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 77-87, 2009.
- BERTON, C. T. **Efeito de diferentes tempos de repouso sobre a parte aérea, sistema radicular e comportamento de pastoreio de vacas leiteiras em uma pastagem polifítica**. 2010. 94f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- BERTON, C. T.; RICHTER, E. M. **Referências agroecológicas: Pastoreio Racional Voisin (PRV)**. Curitiba: CPRA, 2011.
- BORBUREMA, J. B., SOUZA, B. B., CEZAR, M. F., FILHO, J. M. P. Influência de fatores ambientais sobre a produção e composição físico-química do leite. **ACSA – Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 4, p. 15-19, 2014.
- BUERGLER, A. L.; FIKE, J. H.; BURGER, J. A.; FELDHAKE, C. M.; McKENNA, C. R.; TEUTSCH, C. D. Forage Nutritive Value in an Emulated Silvopasture. **Agronomy Journal**. v. 98, n. 5, p. 1265-1273, 2006.
- BUXTON, D.R.; FALES, S. L. Plant environment and quality. In: FAHAY G. C. JR.; COLLINS, M.; MERTENS, D. R.; MOSSER, L. E. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization**, Lincoln, p. 155-199, 1994.
- CAPORAL, F. R. Agroecologia: uma ciência do campo da complexidade. In: COSTABEBER, J. A.; PAULUS, G. (Orgs.). Brasília: MDA/SAF, 2009. v.1. 111p.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia. Enfoque científico e estratégico. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, n. 2, p. 13-16, 2002.

CARVALHO, M. M.; XAVIER, D. F. Sistemas Silvopastoris para Recuperação e Desenvolvimento de Pastagens. In: AQUINO, A. M. de; ASSIS, R. L. de. (Ed.) **Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável**. 1.ed. Brasília: EMBRAPA, p. 498-514, 2005.

CASTAGNA, A. A.; ARONOVICH, M.; RODRIGUES, E. **Pastoreio Racional Voisin: Manejo Agroecológico de Pastagens**. Niterói: Programa Rio Rural, 2008. 35p.

CASTRO, C. R. T.; PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; MÜLLER, M.D; NASCIMENTO JÚNIOR, É. R. Características Agronômicas, Massa de Forragem e Valor Nutritivo de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 60, p. 19-25, 2009.

COELHO, F. M.; OLIVEIRA, S. G. de; BALIZA, D. P.; CAMPOS, P. N. da R. Efeito de extratos de plantas espontâneas na germinação e no crescimento inicial do feijão comum. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 9, n. 2, p. 185-192, 2014.

COELHO, J. S.; ARAÚJO, S.A. do C.; VIANA, M. C. M.; VILLELA, S. D. J.; FREIRE, F. M.; BRAZ, T. G. dos S.; Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária em sistema silvipastoril com diferentes arranjos espaciais. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p. 1487-1500, 2014.

CORDEIRO, S. A.; SILVA, M. L. da. Análise técnica e econômica de Sistemas agrossilvipastoris. In: OLIVEIRA NETO, S. N. de et al. (Ed.). **Sistemas agrossilvipastoril: Integração Lavoura, Pecuária e Floresta**. Viçosa: Editora ARKA, p. 168-189, 2010.

COSTA, N. de L.; MAGALHÃES, J. A.; TOWNSEND, C. R.; PEREIRA, R. G. de A.; PAULINO, V. T. Sistemas Silvopastoris. In: COSTA, N. de L. (Ed.). **Formação, Manejo e Recuperação de pastagens em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, p. 207-219, 2004.

DAGANG, A. B. K.; NAIR, P. K. R. Silvopastoral research and adoption in Central America: recent findings and recommendations for future directions. **Agroforestry systems**. v. 59, p. 149-155, 2003.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. ed. Belém, 2011.

DIAS-FILHO, M. B. Photosynthetic light response of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 65-68, 2002.

DIAS-FILHO, M. B. **Sistemas Silvopastoris na Recuperação de Pastagens Degradadas**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental. p. 30, 2006.

DIAS-FILHO, M. B.; FERREIRA, J. N. Barreiras para a adoção de sistemas silvipastoris. In: EVANGELISTA, A. R.; TAVARES, V. B.; MEDEIROS, L. T.; VALERIANO, A.R. (Eds.)

Simpósio de Forragicultura e Pastagens: temas em evidência - relação custo benefício, 6. Lavras, **Anais...** Lavras: NEFOR: UFLA, p. 347-365, 2007.

EHRET, M.; GRAß, R.; WACHENDORF, M. Productivity at the tree-crop interface of a young willow-grassland alley cropping system. **Agroforestry Systems**. p. 1-13, 2016.

EMBRAPA, Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4 ed. Embrapa Solos, Brasília, DF. 2014, 376p.

FADL, K. E. M.; MAHMOUD, S. E.; HAMAD, Z. M. Farmers perceptions towards agroforestry systems in north and South kordofan stats, Sudan. **International Journal of Environment**. v. 4, 2015.

FAGUNDES, J. L.; FONSECA, D. M. da; GOMIDE, J. A.; NASCIMENTO JUNIOR, D. do ; VITOR, C. M. T.; MORAIS, R. V. de; MISTURA, C.; REIS, G. da C.; MARTUSCELLO, J. A. Acúmulo de forragem em pastos de *Brachiaria decumbens* adubados com nitrogênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 40, n. 4, p. 397-403, 2005.

FEKETE, I.; VARGA, C.; BIRÓ, B.; TÓTH, J. A.; VÁRBÍRÓ, G.; LAJTHA, K.; SZABÓ, G.; KOTROCZÓ, Z. The effects of litter production and litter depth on soil microclimate in a central european deciduous forest. **Plant and Soil**, v. 398, p. 291-300, 2016.

FELDHAKE, C. M.; GLENN, D. M.; PETERSON, D. L. Pasture soil surface temperature response to drought. **Agronomy Journal**. v. 88, n. 4, p. 652-656, 1996.

FERREIRA, T. L. **A Bracatinga (*Mimosa scabrella*) como componente arbóreo em pastagem polifítica sob Pastoreio Racional Voisin**. 2012. 116f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

FRANCIS, C. A.; WEZEL, A. Agroecology and agricultural change. **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**, v.1, p.329-333, 2015.

FREITAS, J. P de; MEDEIROS, M. C. S.; SILVA, J. A. L.; FREITAS, F. E. de; SILVA SILVA NETO, M. F. da. Agroecologia como alternativa para mudanças de um estilo de agricultura convencional para uma agricultura de base familiar: O caso do assentamento Santo Antônio no município de Cajazeiras-PB. **Campo Território: Revista de Geografia Agrária**. v. 9, n. 17, p. 436-468, 2014.

GAO, L.; XU, H.; BI, H.; XI, W.; BAO, B.; WANG, X.; BI, C.; CHANG, Y. Intercropping competition between apple trees and crops in agroforestry systems on the Loess Plateau of China. **Plos One**. v. 8, n. 7, 2013.

GARCEZ NETO, A. F.; GARCIA, R.; MOOT, D. J.; GOBBI, K. F. Aclimação morfológica de forrageiras temperadas a padrões e níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 39, n. 1, p. 42-50, 2010.

GARCIA, R.; TONUCCI, R. G.; GOBBI, K. F. Sistema Silvipastoris: uma integração Árvore, Pasto e Animal. In: OLIVEIRA NETO, S. N. de et al. (Ed.). **Sistemas agrossilvipastoris: Integração Lavoura, Pecuária e Floresta**. Viçosa: Editora ARKA, p. 168-189, 2010.

GASPARIM, E.; RICIERI, R. P.; SILVA, S. de L.; DALLACORT, R.; GNOATTO, E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 27, n. 1, p. 107-115, 2005.

GAUDRY, M.; LAFERRIÈRE, R. The Box-Cox Transformation. **Economics Letters**. v. 30, p. 27-29, 1989.

GLIESSMAN, S. R. **Agroecologia: Processos Ecológicos em Agricultura Sustentável**. 3.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005, 653p.

GLIESSMAN, S. Transforming food systems with agroecology. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 40, n. 3. p. 187-189, 2016.

GOBBI, K. F.; GARCIA, R.; GARCEZ NETO, A. F.; PEREIRA, O. G. VENTRELLA, M. C.; ROCHA, G. C. Características morfológicas, estruturais e produtividade do capim braquiária e do amendoim forrageiro submetidos ao sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 9, p. 1645-1654, 2009.

GUEVARA-ESCOBAR, A.; KEMP, P. D.; MACKAY, A. D.; HODGSON, J. Pasture production and composition under poplar in a hill environment in New Zealand. **Agroforestry Systems**. v. 69, p. 199-213, 2007.

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. **Ecologia Vegetal**. 2ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 592p.

HALIM, R. A.; BUXTON, D. R.; HATTENDORF, M. J.; CARLOS, R. E. Water stress effects on alfalfa forage quality after adjustment for maturity differences. **Agronomy Journal, Madison**, v.81, n.2, p.189-194, 1989.

HODGSON, J. **Grazing management: Science into practice**. Longman Scientific e Technical, 1990. 203p.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 103, p. 137-157. 2000.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas Climáticas do Paraná: Precipitação média anual**. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=595>>. Acesso em: 30 de ago. 2016.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Relatório anual da qualidade do ar na região metropolitana de Curitiba - ano de 2011**. Governo do Estado do Paraná, 2011, 83p.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Anuário 2014**. Disponível em: <http://www.ipardes.pr.gov.br/anuario_2014/estrutura.html#opc1_1> Acesso em: 31 de ago. 2016.

KARKI, U.; GOODMAN, M. S. Cattle distribution and behavior in southern-pine silvopasture versus open-pasture. **Agroforestry Systems**. v. 78, p. 159-168, 2010.

KARKI, U.; GOODMAN, M. S. Microclimatic differences between mature loblolly-pine silvopasture and open-pasture. **Agroforest System**. v. 89, n. 2, p. 319-325, 2014.

KEPHART, K.D.; BUXTON, D.R. Forage quality response of C3 and C4 perennial grasses to shade. **Crop Science**, v. 33, p. 831-837, 1993.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2. Ed. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 2008

KIRCHNER, R.; SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; MIGLIORINI, F.; FONSECA, L.; Desempenho de forrageiras hibernais sob distintos níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 11, p. 2371-2379, 2010.

KLENK, L. A.; ZAEDANEACK, M. A. C.; MOTTA, A. C. V; CONSALTER, R.; RICHETER, A. S. ; BORGES, E. ; Macrofauna invertebrada edáfica em pastagem sul brasileira sob diferentes preparos orgânicos. **Comunicata Scientiae**. v. 5, n. 3, p. 339-348, 2014.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: RiMa, 2006. 531p.

LENZI, A. Fundamentos do pastoreio racional voisin. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 7, n. 1, p. 82-94, 2012.

LOPES, L.B.; ECKSTEIN, C.; PINA, D. S.; CARNEVALLI, R. A.; The influence of trees on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. **Tropical Animal Health Production**. v. 8, p. 755-761, 2016.

LUCAS, M. A. K.; PERSKE, R. C. F.; SOUZA, R. H. V. de; PIMENTEL, D. C. C.; **Sistema silvipastoril na Região da Campanha do Rio Grande do Sul**. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, p. 23, 2015.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia Vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009, 486p.

MATTEUCCI, M. B. de A.; LOBATO, E. J. V. Estudo do regime térmico em latossolo vermelho-escuro distrófico, em Goiânia, GO. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 3, p. 161-166, 2004.

MAURER, F.; ADBON, L.; FARLEY, J. C.; ALVEZ, J. P.; OLDRA, A.; FRANCISCO, F.; Serviços Ambientais e a Produção de Leite sob Pastoreio Voisin na Agricultura Familiar: Ativos Ambientais que Devem ser Considerados. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 4, n. 2, p. 3830-3834, 2009.

MAVI, H. S.; TUPPER, G. J. **Agrometeorology**: Principles and Applications of Climate Studies in Agriculture. CRC Press, 2004. 447p.

MELADO, J. Pastagem ecológica e serviços ambientais da pecuária sustentável. **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 2, n. 2, p. 1777-1783, 2007.

MONTEITH, J. L.; ONG, C. K.; CORLETT, J.E. Microclimatic interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**. v. 45, p. 31-44, 1991.

MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. **Principles of Environmental Physics: Plants, Animals, and the Atmosphere.** 4^a ed. Academic Press. 2013. 422p.

MURGUEITIO, E.; CALLE, Z.; URIBE, F.; CALLE, A.; SOLORIO, B.; Native trees and shrubs for the productive rehabilitation of tropical cattle ranching lands. **Forest Ecology and Management.** v. 261, p. 1654-1663, 2011.

NICODEMO, M. L. F.; SILVA, V. P. da; THIAGO, L. R. L.; GONTIJO NETO, M. M.; LAURA, V. A. **Sistemas Silvopastoris: Introdução de árvores na Pecuária do Centro-Oeste Brasileiro.** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2004, 37p.

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; REIS, G. G.; MOREIRA, A. M.; Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de pinus taeda L. **Revista Árvore,** v. 32, n. 5, p. 855-860, 2008.

OLIVEIRA, P. D.; MANESCHY, R. Q.; COSTA, K. C. G.; GUIMARÃES, T. P.; OLIVEIRA, I. K. de S. Estabelecimento de sistema silvipastoril com *Leucena* em unidade de produção familiar no sudeste do Pará. **Enciclopédia Biosfera.** v. 6, n. 11, p. 1-7, 2010.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 425p.

PACIULLO, D. S. C.; CARVALHO, C. A. B de. AROEIRA, L. J. M.; MORENZ, M. J. F.; LOPES, F. C. F; ROSSEILLO, R. O. P. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol Pleno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** v. 42, n. 4, p. 573-579, 2007.

PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T. de; GOMIDE, C. A. de M.; FERNANDES, P. B.; ROCHA, W. S. B. da; MÜLLER, M. D.; ROSSIELLO, R. O. P. Soil bulk density and biomass partitioning of *Brachiaria decumbens* in silvopastoral system. **Scientia Agricola,** v. 67, n. 5, p. 598-603, 2010.

PARMEJIANI, R. S. **Microclima e características agronômicas de *Brachiaria decumbens* em um sistema silvipastoril.** 2012. 96f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2012.

PAUL, K. I.; POLGLASE, P. J.; SMETHURST, P. J.; O’CONNELL, A. M.; CARLYLE, C. J.; KHANNA, P. K. Soil temperature under forests: a simple model for predicting soil temperature under a range of forest types. **Agricultural and Forest Meteorology,** v. 121, p. 167-182, 2004.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas.** Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478p.

PERI, P. L.; DUBE, F.; VARELLA, A.; Silvopastoral Systems in Southern South America. In: _____. **Silvipastoral Systems in the Subtropical and Zones of South America: An Overview.** 11. ed. Gainesville: Springer International Publishing, p. 2-12, 2016.

PETERSEN, P.; MUSSOI, E. M.; SOGLIO, F. D. Institucionalización del enfoque agroecológico en Brasil: avances y desafíos. **Agroecología.** v. 8, p. 73-79, 2013.

PEZZOPANE, J. R. M.; BOSI, C.; NICODEMO, M. L. F.; SANTOS, P. M.; CRUZ, P.G. da; PARMEJANI, R. S. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in south eastern Brazil. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p. 110-119, 2015.

PILAU, J.; ELLI, E. F.; NARDINO, M.; KORCELSKI, C.; SCHMIDT, D.; CARON, B. O. Desenvolvimento e qualidade do azevém no sub-bosque de angico-vermelho em sistema silvipastoril. **Comunicata Scientiae**. v. 6, n. 4, p. 437-444. 2015.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Modificações microclimáticas em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta* A. Cunn. Ex. R. Br. Na região noroeste do Paraná.** 1998. 128f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Florianópolis, 1998.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. O sistema silvipastoril no Paraná: uma sinopse. In: PARIS, W.; CECATO, U.; DANIELCE, M. M.; MARI, G. C. (Ed.). **III Simpósio De Produção Animal A Pasto**. Maringá: Sthampa, p. 253-272, 2015.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MEDRADO, M. J. S.; NICODEMO, M. L. F.; DERETI, R. M.; **Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: Implantação e manejo.** Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 50p.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. de; MOLETTA, J. L.; PONTES, L. da S.; OLIVEIRA, E. B. de; PELISSARI, A.; CARVALHO, P. C. de F. Danos causados por bovinos em diferentes espécies arbóreas recomendadas para sistemas silvipastoris. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 32, n. 70, p. 183-192, 2012.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing.** Vienna, Austria: RFoundation for Statistical Computing. 2016. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2016.

RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. Fertilidade do solo produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta*. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 32, n. 69, p. 53-61, 2012.

REDDEN, J. R.; HATFIELD, J. L.; VARA PRASAD, P. V.; EBERT, A. W.; YADAV, S. S.; O'LEARY, J. Temperature, climate change, and global food security. In: FRANKLIN, K. A.; WIGGE, P. A. (Ed.). **Temperature and Plant Development**. John Wiley & Sons: Oxford, p. 181-202, 2014.

REIS, R. A.; SILVA, S. C. da. Consumo de forragens. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. de. (Ed.). **Nutrição de Ruminantes**. Jaboticabal, p. 79-103, 2006.

RIBASKI, J.; RIBASKI, S. A. G. Sistemas agroflorestais na região Sul do Brasil. In: ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. de. (Ed.). **Sistemas Agroflorestais: A agropecuária sustentável**. p. 46-68, 2015.

RODRIGUES, C. O. D.; VIANA, M. C. M.; ROCHA, N. S.; BRAZ, T. G. dos S.; VILLELA, S. D. J. Light relations and performance of signal grass in silvopastoral system. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 36, n. 2, p. 129-136, 2014.

- SALLES, N. A. **Acumulo e qualidade da forragem *Uruchloa brizantha* (Hochst. EX A. RICH.) Stapf cv. Xaraés com dois clones de eucalipto em sistema silvipastoril.** 2015. 61f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015.
- SANCHES, P. A. Science in agroforestry. **Agroforestry Systems**, v. 30, p. 5-55, 1995.
- SANTOS, D. de C.; GUIMARÃES JÚNIOR, R.; VILELA, L.; PULROLNIK, K.; BUFON, V. B.; FRANCA, A. F. de S. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of Piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 233, p. 16-24, 2016.
- SANTOS, N. L.; AZENHA, M. V.; SOUZA, F. H. M. de. REIS, R. A.; RUGGIERI, A. C. Fatores ambientais e de manejo na qualidade de pastos tropicais. **Enciclopédia Biosfera**. v.7, n.13, p.531-549, 2011.
- SCHROTH, G.; FONSECA, G. A. B.; HARVEY, C. A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H. L.; IZAC, A-M. N. Introduction: The Role of Agroforestry in Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes. In: SCHROTH, G.; FONSECA, G. DA; HARVEY, C.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H. L.; IZAC, A-M. N. (Eds.). **Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes**. Washington: Island Press, 2004. p. 1-12.
- SENGER, C. C. D.; KOZLOSKI, G. V.; SANCHEZ, L. M. B.; MESQUITA, F. R.; ALVES, T.P.; CASTAGNINO, D. S.; Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs. **Animal Feed Science and Technology**. v. 146, n. 98, p. 169-174, 2008.
- SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. A. Agrometeorologia dos cultivos. In: MOSTEIROMONTEIRO, J. E. B. A. (Ed.). **Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília: INMET, p. 3-12, 2009.
- SHAPO, H.; ADAM, H. Modification of Microclimate and Associated Food Crop Productivity in an Alley-cropping System in Northern Sudan. In JOSE, A.; GORDAN, A. M. (Ed.). **Toward Agroforestry Design: An Ecological Approach**. Springer Netherlands, p. 97-109, 2008.
- SILES, P.; HARMAND, J. M.; VAAST, P. Effects of *Inga densiflora* on the microclimate of coffee (*Coffea arabica* L.) and overall biomass under optimal growing conditions in Costa Rica. **Agroforestry Systems**. v. 78, p. 269-286, 2010.
- SILVA, H. W. Fatores a considerar sobre a produção de leite a pasto. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**. v. 1, n. 2, p. 73-77, 2011.
- SILVA, L. L G. G. da; DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; RESENDE, A. S. de; COLOMBARI, A. A.; MIRANDA, C. B.; FRANCO, A. A.; Influência de espécies de leguminosas arbóreas na qualidade e produção de pastagem de capim Marandu (*Brachiara brizantha*). **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**. v. 16, n. 2, p. 48-55, 2008.

- SILVA, R. F. da; BORGES, C. D.; GARIB, D. M.; MERCANTE, F. M. atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um argissolo vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 2435-2441, 2008.
- SINGH, A. K.; KUMAR, P.; SINGH, R.; RATHORE, N. Dynamics of tree-crop interface in relation to their influence on microclimatic changes - A review. **Hort Flora Research Spectrum**. v. 1, n. 3, p. 193-198, 2012.
- SLAZAK, A.; FREESE, D.; MATOS, E. S.; NII-ANNANG, S.; HUTTI, R. F. Phosphorus pools in soil after land conversion from silvopasture to arable and grassland use. **Journal Plant Nutrition Soil Science**. v.177, p. 159–167, 2014.
- SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONCESA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira Zootecnia**. v. 38, n. 3, p. 443-451, 2009.
- SOUSA, L. F.; MAURÍCIO, R. M.; MOREIRA, G. R.; GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; PEREIRA, L. G. R. Nutritional evaluation of “Braquiaraõ” grass in association with “Aroeira” trees in a silvopastoral system. **Agroforestry Systems**. v. 79, p. 189-199, 2010.
- SOUZA, É. M. de.; ISEPON, O. J.; ALVES, J. B.; BASTOS, J. F. P.; LIMA, R. C. Efeitos da Irrigação e Adubação Nitrogenada sobre a Massa de Forragem de Cultivares de Panicum maximum Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 4, p. 1146-1155, 2005.
- SOUZA, L. L. **Proposta de um índice de conformidade ao PRV**: estudo no assentamento Antônio Tavares – São Miguel do Iguaçu – PR.2010. 65f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.
- VAN SOEST, P. J. **Nutritional Ecology of the Ruminant**. Cornell University, 2 ed., 1994, 122p.
- VEIGA, J. B.; ALVES, C. P.; MARQUES, L. C. T.; VEIGA, D. F. **Sistemas silvipastoris na Amazônia Oriental**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 62 p.
- VOISIN, A. **Produtividade do pasto**. 2. ed. São Paulo: Mestre Jou, 1981. 519p.
- WANZELER, R. T. S.; COSTA, J. de P. da; SANTOS, C. A. dos. Variabilidade horária do perfil de temperatura do solo em um pomar de mangueiras (*Mangifera indica* L.), na localidade de Cuiarana, Salinópolis – PA. **Estação Científica**. v. 6, n. 1, p. 117-124, 2016.
- WENDLING, A. V.; RIBAS, C. E. D. C. Índice de conformidade do pastoreio racional Voisin (IC-PRV). **Revista Brasileira de Agroecologia**. v. 8, n. 3, p. 26-38, 2013.
- WEZEL, A.; BELLON, S.; DORE, T.; FRANCIS, C.; VALLOD, D.; DAVID, C. Agroecology as Science, a movement and practice. A review. **Agronomy for Sustainable Development**. v. 29, n. 4, p. 503-515, 2009.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Manual on Codes: International Codes.**
v. 1. Geneva. 2011, 466p.

ANEXO

ANEXO A – Planilha para coleta dos dados microclimáticos a campo

DATA DA COLETA ___/___/___ HORÁRIO DA COLETA _____ às _____

| Piq. | Faixa | P | Alt | T°C ar | UR | T°C solo | V.vento | LUX | Piq. | Faixa | P | Alt | T°C ar | UR | T°C solo | V.vento | LUX |
|------|-------|---|-----|--------|----|----------|---------|-----|------|-------|---|-----|--------|----|----------|---------|-----|
| 10 | 1 | 1 | | | | | | | 4 | 1 | 1 | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | 3 | | | | | | |
| 10 | 2 | 1 | | | | | | | 4 | 2 | 1 | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | 3 | | | | | | |
| 10 | 3 | 1 | | | | | | | 4 | 3 | 1 | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | 3 | | | | | | |
| Piq. | Faixa | P | Alt | T°C ar | UR | T°C solo | V.vento | LUX | Piq. | Faixa | P | Alt | T°C ar | UR | T°C solo | V.vento | LUX |
| 11 | 1 | 1 | | | | | | | 5 | 1 | 1 | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | 3 | | | | | | |
| 11 | 2 | 1 | | | | | | | 5 | 2 | 1 | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | 3 | | | | | | |
| 11 | 3 | 1 | | | | | | | 5 | 3 | 1 | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | 3 | | | | | | |
| Piq. | Faixa | P | Alt | T°C ar | UR | T°C solo | V.vento | LUX | Piq. | Faixa | P | Alt | T°C ar | UR | T°C solo | V.vento | LUX |
| 12 | 1 | 1 | | | | | | | 6 | 1 | 1 | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | 3 | | | | | | |
| 12 | 2 | 1 | | | | | | | 6 | 2 | 1 | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | 3 | | | | | | |
| 12 | 3 | 1 | | | | | | | 6 | 3 | 1 | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | 3 | | | | | | |
| Piq. | Faixa | P | Alt | T°C ar | UR | T°C solo | V.vento | LUX | Piq. | Faixa | P | Alt | T°C ar | UR | T°C solo | V.vento | LUX |
| 13 | 1 | 1 | | | | | | | 7 | 1 | 1 | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | 3 | | | | | | |
| 13 | 2 | 1 | | | | | | | 7 | 2 | 1 | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | 3 | | | | | | |
| 13 | 3 | 1 | | | | | | | 7 | 3 | 1 | | | | | | |
| | | 2 | | | | | | | | | 2 | | | | | | |
| | | 3 | | | | | | | | | 3 | | | | | | |