

**Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Interações em sistema silvipastoril: microclima, produção de forragem e  
parametrização de modelo para estimativa da produtividade  
de pastagens de Brachiaria**

**Cristiam Bosi**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre  
em Ciências. Área de concentração: Engenharia de  
Sistemas Agrícolas

**Piracicaba  
2014**

Cristiam Bosi  
Engenheiro Agrônomo

**Interações em sistema silvipastoril: microclima, produção de forragem e parametrização de modelo para estimativa da produtividade de pastagens de Brachiaria**  
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:  
Prof. Dr. **PAULO CESAR SENTELHAS**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba  
2014**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Bosi, Cristiam

Interações em sistema silvipastoril: microclima, produção de forragem e parametrização de modelo para estimativa da produtividade de pastagens de Brachiaria / Cristiam Bosi. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2014. 139 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013. Bibliografia.

1. Sistema silvipastoril 2. Sombreamento 3. Microclima 4. Brachiaria 5. Modelos de produtividade I. Título

CDD 634.99  
B743i

**"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"**

A Deus, princípio e razão de tudo

DEDICO



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado a vida, e pelas oportunidades que me proporcionou, enfim, por tudo.

À minha família, meus pais Jovir e Valdecira, por terem me dado a vida e todas as condições para que eu fosse o que sou hoje e principalmente pela amizade e os ensinamentos; aos meus irmãos Carine e Cassiano pelo apoio, à nona Francisca e tia Olinda pelas orações e tudo que fazem por mim. A todos os familiares que já não estão entre nós, mas que sempre estão presentes na memória. Agradeço à minha esposa Dulcineia, pela dedicação, pelo companheirismo, pela paciência, por me entender nos momentos em que não pude estar com ela, pelas vezes em que me deu forças para seguir em frente. Agradeço também à minha sogra Lucy pelo grande apoio e pelas orações.

Agradeço ao meu orientador e professor Paulo Cesar Sentelhas, pela paciência, pela amizade e pelos ensinamentos que me fizeram crescer profissionalmente.

Ao Dr. José Ricardo Macedo Pezzopane, por todo o apoio nesses anos de convivência, pelo auxílio nos experimentos, pela amizade, pelas orientações e pelos ensinamentos que me fizeram tomar gosto pela Agrometeorologia.

Aos professores Patrícia Menezes Santos, Fábio Ricardo Marin, Sônia M. S. Piedade, Marcelo Montañó e Luiz Roberto Angelocci, por tudo que me ensinaram e pelas experiências repassadas.

Aos amigos da “Cúpula”: Rafael Battisti, Lucas F. Souza, Leonardo A. Monteiro, Murilo S. Vianna, Alessandro Toyama Almeida, Alexandre do Rio, Éder Comunello, Daniel S. P. Nassif, Leandro G. Costa, Luiza G. Santos e Helena M. S. Pinto, pela convivência, apoio e pelas boas experiências.

Também agradeço a todos os amigos que me auxiliaram: Ary Simonetti, Matheus H. Marconato, João V. L. Fiorin, Arthur G. Lima, Flávia Coradini, Daiane M. Parra, Cristiana de G. Pezzopane, Pedro G. da Cruz, Leandro C. Araújo, José Carlos, André e Mário.

À ESALQ e ao PPG em Engenharia de Sistemas Agrícolas por me proporcionarem todas as condições para realização do mestrado, à Embrapa Pecuária Sudeste pela estrutura e recursos para realização do experimento, à CAPES pela concessão da bolsa.

Enfim agradeço a todos os que colaboraram para que eu chegasse até aqui.

MUITO OBRIGADO.



Estamos na situação de uma criancinha que entra em uma imensa biblioteca, repleta de livros em muitas línguas. A criança sabe que alguém deve ter escrito aqueles livros, mas não sabe como. Não compreende as línguas em que foram escritos. Tem uma pálida suspeita de que a disposição dos livros obedece a uma ordem misteriosa, mas não sabe qual ela é. Essa, ao que me parece, é a atitude até mesmo do mais inteligente dos seres humanos diante de Deus. Vemos o Universo, maravilhosamente disposto e obedecendo a certas leis, mas temos apenas uma pálida compreensão delas. Nossa mente limitada capta a força misteriosa que move as constelações (Albert Einstein).



## SUMÁRIO

RESUMO .....	13
ABSTRACT .....	15
1 INTRODUÇÃO .....	17
1.1 Revisão Bibliográfica .....	19
1.1.1 Sistemas agroflorestais .....	19
1.1.2 Sistemas silvipastoris .....	23
1.1.3 Microclima em sistemas agroflorestais .....	25
1.1.3.1 Radiação solar .....	26
1.1.3.2 Temperatura do ar e do solo.....	27
1.1.3.3 Umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor.....	29
1.1.3.4 Velocidade do vento.....	30
1.1.4 Gênero Brachiaria .....	31
1.1.5 Modelagem da produtividade de plantas .....	33
1.1.5.1 Modelagem em plantas forrageiras .....	34
1.1.5.2 Modelagem em sistemas agroflorestais .....	37
1.1.5.3 Método da Zona Agroecológica.....	39
Referências .....	41
2 MICROCLIMA EM SISTEMA SILVIPASTORIL .....	53
Resumo.....	53
Abstract .....	53
2.1 Introdução.....	54
2.2 Material e Métodos .....	56
2.2.1 Caracterização do experimento.....	56
2.2.2 Coleta de dados .....	58
2.2.3 Análise dos dados.....	59
2.3 Resultados e discussão .....	60
2.3.1 Radiação Solar Global.....	60
2.3.2 Velocidade do vento.....	62
2.3.3 Temperatura do ar .....	64
2.3.4 Umidade do ar.....	66
2.3.5 Fluxo de calor no solo .....	69

2.3.6 Temperatura do solo a 0,05 m de profundidade.....	71
2.4 Conclusões.....	72
Referências .....	73
<b>3 PRODUTIVIDADE E CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DE <i>BRACHIARIA DECUMBENS</i> EM SISTEMA SILVIPASTORIL .....</b>	<b>77</b>
Resumo.....	77
Abstract .....	77
3.1 Introdução.....	78
3.2 Material e métodos.....	80
3.2.1 Caracterização do experimento.....	80
3.2.2 Coleta de dados .....	81
3.2.3 Análise dos dados.....	82
3.3 Resultados e discussão .....	82
3.3.1 Produtividade da forragem.....	82
3.3.2 Índice de área foliar.....	85
3.3.3 Altura de plantas .....	86
3.3.4 Área foliar específica.....	87
3.4 Conclusões.....	89
Referências .....	89
<b>4 CALIBRAÇÃO E TESTE DE MODELO DE ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS DO GÊNERO <i>BRACHIARIA</i>, CULTIVADAS A PLENO SOL E EM SISTEMA SILVIPASTORIL.....</b>	<b>93</b>
Resumo.....	93
Abstract .....	93
4.1 Introdução.....	94
4.2 Material e métodos.....	97
4.2.1 Caracterização do experimento com <i>B. brizantha</i> a pleno sol.....	97
4.2.2 Coleta dos dados do experimento com <i>B. brizantha</i> a pleno sol .....	98
4.2.3 Parametrização do FAO-MZA para cultivares de <i>B. brizantha</i> a pleno sol.....	98
4.2.4 Teste do modelo com os dados utilizados na calibração e com o IAF estimado .....	102
4.2.5 Teste do modelo para a estimativa da produtividade potencial de <i>B. brizantha</i> .....	103
4.2.6 Teste do modelo para <i>B. decumbens</i> em sistema silvipastoril.....	103
4.2.7 Análise dos dados.....	104
4.3 Resultados e discussão .....	105

4.3.1 Parametrização do FAO-MZA para cultivares de <i>B. brizantha</i> a pleno sol.....	105
4.3.1.1 Calibração para produtividade potencial .....	105
4.3.1.2 Calibração para produtividade atingível.....	107
4.3.2 Estimativa do IAF pelo acúmulo de Graus-dia.....	111
4.3.3 Teste do modelo com os dados utilizados na calibração e com o IAF estimado .....	113
4.3.3.1 Produtividade potencial .....	113
4.3.3.2 Produtividade atingível.....	114
4.3.4 Teste do modelo para a estimativa da produtividade potencial de <i>B. brizantha</i> .....	116
4.3.5 Teste do modelo para <i>Brachiaria decumbens</i> em sistema silvipastoril .....	118
4.3.5.1 Estimativa do IAF .....	118
4.3.5.2 Estimativa da produtividade atingível .....	120
4.4 Conclusões.....	123
Referências .....	124
ANEXOS.....	129



## RESUMO

### **Interações em sistema silvipastoril: microclima, produção de forragem e parametrização de modelo para estimativa da produtividade de pastagens de *Brachiaria***

Os sistemas silvipastoris (SSPs) buscam maior sustentabilidade, aliando, para isto, os componentes animal, planta forrageira e árvore. Entretanto, esta associação modifica o sistema, alterando o microclima, o crescimento das plantas e a produção animal. O presente estudo objetivou avaliar as alterações no microclima em um SSP sob pastejo, em São Carlos, SP, provocadas pela inserção das árvores, correlacionar isto com as características e a produtividade da forrageira *Brachiaria decumbens* e parametrizar o modelo da zona agroecológica da FAO (FAO-MZA) para estimar a produtividade de *Brachiaria brizantha* a pleno sol e, posteriormente, de *B. decumbens* em SSP. Para tanto, foram monitoradas continuamente variáveis microclimáticas por meio de quatro estações meteorológicas, distribuídas em diferentes posições dentro do sistema: a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>); a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>); a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>); e a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>), de forma a avaliar o microclima e a produtividade ao longo de um transecto entre os dois renques de árvores, além de uma estação a pleno sol, como referência. Concomitantemente, foram realizadas avaliações das características biométricas e da produtividade da planta forrageira durante sete ciclos com duração de 35 dias. Ao longo de cada um desses ciclos foram feitas cinco avaliações para monitorar a dinâmica de crescimento da pastagem. Essas informações foram empregadas na parametrização do modelo FAO-MZA para a estimativa da produtividade da *B. decumbens* e da *B. brizantha*. Os resultados demonstram que as variáveis microclimáticas foram modificadas pela presença das árvores, dependendo do nível de sombreamento, da época do ano (declinação solar), da orientação dos renques, da influência vertical da copa das árvores retendo a radiação de ondas longas no local e, para a velocidade do vento, o arranjo das árvores em renques, atuando como quebra-ventos. Quanto às variáveis referentes à pastagem, o sombreamento influenciou a produtividade e as suas características biométricas, sendo que, nos três primeiros ciclos, em níveis acima de 50 % de sombra, houve redução da produtividade de forragem e do índice de área foliar (IAF), caracterizando limitação pelo déficit de luminosidade, e aumento na altura de plantas e na área foliar específica (AFE), como estratégia de aumento da captação de energia radiante. Entretanto, nas épocas em que houve déficit hídrico e/ou térmico não houve diferença entre as posições avaliadas, para todas as variáveis, demonstrando que o sombreamento perde sua influência sobre a pastagem quando ocorrem outros fatores ambientais limitantes. Já, no que se refere à avaliação do modelo de estimativa da produtividade, foram geradas boas estimativas da produtividade potencial para *B. brizantha*, a pleno sol, e da produtividade atingível para a *B. decumbens* em níveis baixos de sombreamento. Porém, os dados não foram satisfatórios para a produtividade atingível de *B. brizantha*, a pleno sol, pois a pastagem sob irrigação apresentou diferenças em relação à não-irrigada, que não puderam ser modeladas, e de *B. decumbens* em altos níveis de sombreamento, porque o modelo não considera o efeito da plasticidade fenotípica das plantas na conservação da produtividade da pastagem, sob sombreamento.

Palavras-chave: Sistema silvipastoril; Sombreamento; Microclima; *Brachiaria*; Modelos de produtividade



## ABSTRACT

### **Interactions in a silvopastoral system: microclimate, pasture production, and yield model parameterisation for *Brachiaria***

The silvopastoral systems (SSPs) have as objective to increase the sustainability of agriculture, combining the following components: animals, pasture, and trees species. However, such combination changes the environment, mainly the microclimate, the plants growth, and also the animal production. Based on the changes caused by the SSPs, the objective of the present study was to evaluate the microclimate changes in a SSP under grazing, in São Carlos, SP, Brazil, promoted by the presence of trees, to correlate the changes in microclimate with the pasture yield and to parameterize the FAO Agroecological Zone model (FAO-MZA) to estimate the *Brachiaria brizantha*, growth in full sun, and lately the growth of *B. decumbens* in a SSP. For that, the micrometeorological variables were continuously monitored by four weather stations distributed in different positions inside the SSP: at 2 m from the trees at east (2m<sub>L</sub>); at 6 m from the trees at east (6m<sub>L</sub>); at 6 m from the trees at west (6m<sub>O</sub>); and at 2 m from the trees at west (2m<sub>O</sub>), in order to evaluate the microclimate and yield along a transect between two rows of trees. Another weather station was also installed out of the SSP, in a full sunny condition, and it was considered as reference. The biometric characteristics and the yield of the pasture plants were also measured during seven cycles of 35 days. During each crop cycle, five evaluations were done to determine the growth dynamics of the plants. These data were used to parameterize the FAO-MZA model for estimating the *B. decumbens* and *B. brizantha* yields. The results showed that the microclimate was modified by the presence of trees, but with the intensity of change depending on the level of shading, the season of year (solar declination), the orientation of the rows, the vertical influence of the tree canopy to retain the long-wave radiation, and the wind speed. Regarding the variables related to the pasture, the shading affected the yield and the biometric characteristics of the plants, in the first three cycles, when more than 50% shading occurred, there was a reduction of yield and leaf area index, as a consequence of the increase in plant height and specific leaf area (AFE), as a strategy to increase the uptake of solar energy. However, when water and/or thermal stresses occurred no differences were observed among the treatments for all the variables. It demonstrates that the shading loses its influence over the pasture growth when there are other environmental limiting factors. The FAO-MZA model had a good performance for estimating the potential yield for *B. brizantha* growing in a full sunny condition, and also for the attainable yield of *B. decumbens* at low levels of shading. However, the model was not able to estimate the attainable yield of *B. brizantha* in a full sunny condition, which was caused by inconsistencies of the pasture yield data under irrigation, which was not possible to be modeled, and of *B. decumbens* in high levels of shading, because the model does not consider the plants' phenotypic plasticity effect, which makes the pasture more yield conservative under shading.

Keywords: Silvopastoral systems; Shading; Microclimate; *Brachiaria*; Crop yield models



## 1 INTRODUÇÃO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são formas de uso da terra nas quais se combinam espécies arbóreas lenhosas (frutíferas e/ou madeireiras) com cultivos agrícolas e/ou animais, de forma simultânea ou em sequência temporal e que interagem econômica e ecologicamente (SISAF, 2014) entre si. Os sistemas agroflorestais contribuem para a solução de problemas no uso dos recursos naturais, pois cumprem funções biológicas e socioeconômicas. A presença de árvores no sistema traz benefícios diretos e indiretos, por exemplo, o controle da erosão e manutenção da fertilidade do solo, o aumento da biodiversidade, a diversificação da produção e o prolongamento do ciclo de manejo de uma área (ENGEL, 1999).

Uma das possibilidades de potencialização do uso de áreas destinadas ao reflorestamento é a implantação de sistemas silvipastoris, onde árvores são cultivadas em consórcio com pastagens. Estes sistemas pressupõem o inter-relacionamento e o adequado equilíbrio de seus vários componentes: a espécie florestal, a espécie forrageira, o animal, o solo e o microclima (GUTMANIS, 2002).

Os SAFs são sistemas de grande importância para o Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura (Plano ABC), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), sendo relacionados com três programas: Programa 1 que trata da recuperação de pastagens degradadas; Programa 2 que engloba justamente as ações para implementar SAFs e Integração Lavoura-Pecuária-Floresta; e Programa 7 que visa a adaptação da agropecuária brasileira às mudanças climáticas (MAPA, 2014).

De acordo com Young (1991), as principais interações dos sistemas silvipastoris com o ambiente referem-se ao microclima (radiação solar, umidade do ar, temperatura e vento) e ao solo (erosão e fertilidade). As árvores, auxiliando na estabilização do microclima, protegem os animais do calor e frio intensos, propiciando a manutenção do conforto térmico, com reflexos positivos na produtividade do rebanho (ABEL et al., 1997; NICODEMO, 2005; PORFÍRIO-DA-SILVA, 2006a). Entretanto, Dias-Filho (2006) ressalta que a presença de árvores e arbustos no pasto pode, também, prejudicar o desenvolvimento da pastagem. Isto ocorre, principalmente, devido ao sombreamento excessivo e, em alguns casos, à competição por água e nutrientes entre as espécies arbóreo-arbustivas e a pastagem. No caso de espécies arbóreo-arbustivas que apresentam abundante queda de folhas, cuja decomposição seja lenta, o acúmulo dessa serrapilheira poderá prejudicar a rebrota ou a germinação e o crescimento do capim.

As alterações microclimáticas nos sistemas silvipastoris podem resultar em respostas diferentes para cada espécie forrageira. Sendo assim, torna-se essencial quantificar este aspecto para a *Brachiaria decumbens*, dada a sua grande importância para a pecuária brasileira.

Assim, torna-se imprescindível a realização de pesquisas que venham a testar os aspectos de diferentes arranjos de espécies para esses sistemas, a fim de encontrar combinações que proporcionem a convivência com o mínimo de prejuízo para cada componente. Neste aspecto a modelagem pode contribuir bastante, pois, segundo Pereira (1984), permite testar e gerar hipóteses, orientar a experimentação a campo e prever a resposta de um sistema em condições desconhecidas. Assim, a parametrização de modelos para a estimativa da produtividade das pastagens surge como uma boa alternativa para o planejamento da sua utilização em sistemas silvipastoris em diversas regiões, evitando perdas com a sua implantação em ambientes e condições impróprios.

Diante do exposto, o presente projeto se baseia nas hipóteses de que a presença das árvores no sistema silvipastoril modifica a dinâmica das variáveis microclimáticas e, conseqüentemente, a produtividade e as características biométricas de *B. decumbens* e de que os modelos agrometeorológicos podem ser utilizados para estimar a produtividade de espécies do gênero *Brachiaria*, tanto a pleno sol como em sistemas silvipastoris, de modo a orientar ações de planejamento e manejo dessa forrageira. De modo a comprovar essas hipóteses, o presente estudo teve por objetivo geral avaliar as alterações no microclima em um sistema silvipastoril sob pastejo, provocadas pela presença de árvores, correlacionar isto com as características e a produtividade da forrageira *B. decumbens*, e efetuar a parametrização do modelo da zona agroecológica da FAO para estimar as produtividades de *B. brizantha* a pleno sol e de *B. decumbens* no sistema silvipastoril. Já os objetivos específicos foram:

- a) Monitorar as alterações no microclima de um sistema silvipastoril, em diferentes distâncias dos renques de árvores;
- b) Avaliar a produtividade e as modificações em algumas características biométricas da espécie forrageira *B. decumbens* dentro de um sistema silvipastoril sob pastejo;
- c) Efetuar a parametrização do Modelo da Zona Agroecológica da FAO a fim de estimar a produtividade potencial e atingível de três cultivares de *B. brizantha* a pleno sol;
- d) Avaliar a capacidade do modelo da FAO, parametrizado para *B. brizantha*, em estimar a produtividade de *B. decumbens* em diferentes pontos de um sistema silvipastoril.

## **1.1 Revisão Bibliográfica**

### **1.1.1 Sistemas agroflorestais**

Os ecossistemas de regiões temperadas e tropicais são muito diferentes. Um dos aspectos principais diz respeito à ciclagem de nutrientes. Nas regiões temperadas, os solos geralmente são mais férteis, grande parte dos nutrientes minerais fica armazenada no solo e a matéria orgânica se acumula naturalmente por causa das taxas de decomposição mais baixas. Por outro lado, nas regiões tropicais, a maior parte dos nutrientes não está disponível de forma imediata e encontra-se armazenada na própria biomassa. O acúmulo de matéria orgânica no solo é baixo, pois a sua decomposição é muito rápida, quando comparada com ecossistemas temperados e boreais. Os solos tropicais geralmente são pobres, sofrem com a lixiviação e tendem a ser ácidos, dependendo diretamente da matéria orgânica para a manutenção de sua fertilidade. Logo, a destruição da cobertura florestal e da matéria orgânica do solo, por si só, remove a maior parte do estoque de nutrientes dos ecossistemas, levando a uma diminuição de sua fertilidade e capacidade produtiva (ENGEL, 1999). Assim, surge a necessidade de utilização de sistemas alternativos que minimizem esses problemas.

Por outro lado, a previsão de aquecimento global emitida pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) aponta para o aumento da temperatura e alteração no regime de chuvas das regiões tropicais, ainda para este século. Segundo Gutmanis (2002), isto exige medidas capazes de reduzir os níveis de carbono na atmosfera, como a preservação das áreas naturais e o estímulo ao reflorestamento. Com isso, surge o mercado internacional de créditos de carbono, através dos quais países industrializados financiam projetos em países em desenvolvimento para reduzir essas emissões.

Dentro dos contextos citados acima se inserem os Sistemas Agroflorestais (SAFs), que são técnicas de produção de alimentos, madeira e energia que procuram imitar os ecossistemas naturais, sendo menos agressivos ao ambiente, além de permitir aumento no estoque de carbono nestes sistemas, proporcionando uma alternativa de mitigação do efeito estufa (GUTMANIS, 2002).

Nair (1989) definiu SAFs como sistemas de uso da terra e tecnologias em que espécies lenhosas perenes são utilizadas na mesma unidade de manejo que culturas agrícolas ou animais em algum arranjo espacial e sequência temporal. Nos sistemas agroflorestais ocorrem interações ecológicas e econômicas entre os diferentes componentes.

Engel (1999) afirma que um sistema agropecuário é visto como uma entidade organizada com o propósito de usar recursos naturais para obter produtos e benefícios agrícolas. Estruturalmente, caracteriza-se por uma composição de cultivos e animais no espaço e no tempo. Funcionalmente, é uma unidade que processa entradas, tais como água, luz, nutrientes, e produz saídas como alimentos, fibras e outras. Dentro da ideia de hierarquia de sistemas, podem-se enxergar os sistemas agropecuários como uma hierarquia de glebas, lotes agrícolas, propriedades, microbacias, regiões, etc. A compreensão de que os componentes de um sistema interagem, e de que o sistema é dinâmico, torna mais fácil buscar soluções aos problemas de manejo visando melhor produção e sustentabilidade.

Assim, um sistema agroflorestal é definido como um sistema agropecuário diferenciado por ter um componente arbóreo ou lenhoso, o qual tem um papel fundamental na sua estrutura e função. Os sistemas agroflorestais têm os atributos de qualquer sistema: limites, componentes, interações, entradas e saídas, relações hierárquicas e uma dinâmica própria (ENGEL, 1999).

Segundo Nair (1985) e Young (1991), um sistema agroflorestal é um exemplo específico de práticas agroflorestais encontradas em uma localidade ou área, de acordo com sua composição biológica e arranjo, nível tecnológico de manejo e características socioeconômicas.

De acordo com Elevitch e Kim (2001), os sistemas agroflorestais devem incluir pelo menos uma espécie florestal, arbórea ou arbustiva, a qual pode ser combinada com uma ou mais espécies agrícolas e/ou animais. É um sistema dinâmico que, baseado no manejo ecológico dos recursos naturais, por meio da integração de árvores nos sistemas agrícolas ou pecuários, diversifica e mantém a produção para melhoria social, econômica e ambiental do homem do campo em todos os níveis.

O objetivo principal dos SAFs é otimizar o uso da terra, conciliando a produção florestal com a produção de alimentos, conservando o solo e diminuindo a pressão pelo uso da terra para produção agrícola. Por exemplo, áreas de vegetação secundária, sem expressão econômica e social, podem ser reabilitadas e usadas racionalmente por meio de práticas agroflorestais. Outro ponto importante é a formação de sistemas ecológicos mais estáveis, com menor entrada de recursos externos e menor dependência de recursos externos (ENGEL, 1999).

Lal (1991) afirma que a degradação de solos tropicais é menor em SAFs do que em cultivos anuais. Segundo ele, a matéria orgânica, o pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), a estrutura, a taxa de infiltração, e a saturação por bases são mantidas em níveis mais

favoráveis em SAFs, devido à redução do escoamento superficial e da erosão, à maior fixação de nitrogênio por leguminosas, à diminuição da amplitude térmica do solo e melhoria da sua porosidade. Já Young (1988) afirma que uma das principais funções desses sistemas é a conservação do solo, numa abordagem biológica. Marin et al. (2006), no agreste paraibano, constataram que embaixo da copa de árvores houve aumento nos teores de P e K extraíveis do solo em até 2,5 mg kg<sup>-1</sup> e 214 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, comparando-se a um local a 3 m de distância das copas. Já Franco et al. (2002), na Zona da Mata de Minas Gerais, comprovaram que a erosão do solo é menor em sistemas agroflorestais do que em sistemas convencionais, chegando a uma redução de 2400 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Porfírio-da-Silva (1998) afirma que os SAFs têm grande importância para a biodiversidade como protetora do valor intrínseco da terra e da manutenção de sua capacidade regenerativa, pelo fato desses sistemas terem maior biodiversidade do que os monocultivos. Isso é confirmado por Dias et al. (2007), que avaliaram os efeitos da inserção de leguminosas arbóreas em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, no município de Seropédica, RJ, constatando que a densidade da macrofauna do solo variou de 108 a 602 em locais onde havia a presença das árvores e de apenas 2 na área de pastagem solteira.

Segundo Mosquera-Losada et al. (2012), desde meados da década de 1990, as políticas na Europa têm encorajado sistemas de manejo da terra que combinem a produção com ganhos ambientais (biodiversidade, sequestro de carbono, ciclagem de nutrientes e qualidade da água) e sociais, e isso motivou um novo interesse nos sistemas agroflorestais.

Santos et al. (2008) afirmam que os benefícios do uso de SAFs podem ser sintetizados como: agronômicos, por meio da recuperação e manutenção das características produtivas do solo; econômicos, por meio da diversificação de produtos e obtenção de maiores rendimentos; ecológicos, devido à redução da biota nociva às espécies cultivadas e consequente redução do uso de defensivos agrícolas, bem como redução da erosão e maior biodiversidade em comparação aos monocultivos; sociais, com distribuição mais uniforme da renda e geração de empregos diretos e indiretos. Além disso, há o benefício zootécnico, que possibilita o estabelecimento de pasto com boa produtividade e valor nutritivo e de condições de conforto para os animais, o que resulta em alto desempenho desses.

Além dessas aplicações, Garrity (2004) cita que os SAFs podem auxiliar no alcance das metas de desenvolvimento para o milênio definidas pela Cúpula do Milênio das Nações Unidas de 2000, em Nova York, ajudando a erradicar a fome, retirando pessoas da pobreza na zona rural, promovendo avanços na saúde e nutrição da população rural, conservando a biodiversidade, protegendo as bacias hidrográficas, assistindo a população rural para se

adaptar às mudanças climáticas e ingressar no mercado de carbono, e desenvolvendo a capacidade humana e institucional na pesquisa e desenvolvimento em sistemas agroflorestais.

Quanto ao sequestro de carbono, o componente arbóreo dos sistemas agroflorestais, pode ser um importante fixador de C atmosférico, devido ao seu rápido crescimento e sua alta produtividade. Com isto, pode haver um incremento no carbono orgânico das terras utilizadas para a agricultura (MONTAGNINI; NAIR, 2004). Isso foi comprovado por Neves et al. (2004), no noroeste do estado de Minas Gerais, avaliando um sistema agroflorestal, em que ao longo dos anos de cultivo houve um aumento gradativo no estoque de carbono, chegando a 2 Mg ha<sup>-1</sup> na camada superficial para o terceiro ano de cultivo.

Os SAFs têm sido classificados de diferentes modos, ou seja, de acordo com sua estrutura espacial, modificações ao longo do tempo, importância relativa e a função dos diferentes componentes, objetivos da produção e características socioeconômicas predominantes. Por exemplo, quanto à sua composição, esses sistemas podem ser classificados como: sistemas agrissilviculturais (árvores + culturas); silvipastoris (árvores + animais); e agrissilvipastoris (árvores + culturas + animais) (ENGEL, 1999).

Segundo Engel (1999), atualmente, a classificação dos SAFs é aquela adotada pelo ICRAF (*International Council for Research in Agroforestry*), pelo *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza* (CATIE) e pela Rede Brasileira Agroflorestal (REBRAF), que se baseia no tipo de componentes incluídos e na associação entre eles. Essa classificação é descritiva, sendo que o nome de cada sistema indica os principais componentes, dá uma ideia de sua fisionomia e principais funções e objetivos, sendo assim mais didática. Os sistemas são classificados em um primeiro nível simplesmente como sequenciais, simultâneos ou complementares, como seguem:

a) Sistemas agroflorestais sequenciais: os cultivos agrícolas anuais e as plantações de árvores se sucedem no tempo. Nesta categoria se incluem os sistemas de agricultura migratória com intervenção e manejo de capoeiras; sistema silviagrícola rotativo (capoeiras melhoradas com espécies arbóreas de rápido crescimento); sistema *Taungya* (cultivos anuais consorciados apenas temporariamente com árvores, durante os primeiros anos de implantação). Nos sistemas sequenciais, os componentes arbóreos e não-arbóreos se encontram, sendo, pelo menos parcialmente, separados no tempo, alternando-se períodos de cultivos anuais com pousio;

b) Sistemas agroflorestais simultâneos: integração simultânea e contínua de cultivos anuais e perenes, árvores madeiráveis ou de uso múltiplo e/ou pecuária. Incluem associações de

árvores com cultivos anuais ou perenes, hortos caseiros mistos e sistemas agrissilvipastoris. Nos sistemas simultâneos, os componentes agropecuários e florestais sempre se encontram presentes em uma mesma unidade do terreno;

c) Sistemas complementares: cercas vivas, quebra-ventos, fileiras de árvores para delimitar uma propriedade ou gleba, ou servir de proteção para outros componentes e outros sistemas. São considerados complementares às outras duas categorias, pois podem estar associados a sistemas sequenciais ou simultâneos.

### **1.1.2 Sistemas silvipastoris**

Segundo Garcia e Couto (1997), os sistemas silvipastoris (SSPs) são uma modalidade dos sistemas agroflorestais que congrega animais, plantas forrageiras e árvores na mesma área, combinados para gerar produção de forma complementar por meio das suas interações. Engel (1999) classifica-os como associações de árvores madeireiras ou frutíferas com animais e sua alimentação, com ou sem presença de cultivos anuais ou perenes. Podem ser praticadas em diferentes níveis, desde plantações florestais em larga escala, onde são introduzidos animais em pastoreio, até a criação de animais como complemento para sistemas de agricultura de subsistência.

Entretanto, Bernardino et al. (2007) classificam os sistemas silvipastoris como uma modalidade de uso da terra cuja exploração é bem mais complexa que a de pastagens exclusivas. Por isso, necessitam de equilíbrio entre seus componentes (árvores, plantas forrageiras e animais). Devido ao grande número de interações possíveis entre estes componentes e os fatores do clima e do solo, necessitam de um planejamento rigoroso. Já quanto à sua concepção, os sistemas silvipastoris podem ser classificados em eventuais ou verdadeiros. São eventuais quando a associação árvore/pasto/animal se estabelece em determinado momento de uma exploração arbórea ou pecuária convencional. Neste caso, os subprodutos da exploração são manejados com menos destaque, para não prejudicar o produto principal. Já nos verdadeiros, os três componentes são considerados integrantes do sistema desde o planejamento, coexistindo na associação dentro de determinado nível de participação. São plantios regulares em espaçamentos ou densidades em que a possibilidade de supressão de um componente é remota (BERNARDINO et al., 2007).

A presença de árvores no ambiente exerce influência sobre a luminosidade, a temperatura e a umidade do solo, que afetam a produção, a qualidade da forragem e o desempenho dos animais. Com isso, é necessário o uso de espécies forrageiras tolerantes às

condições impostas pelas árvores para uma exploração bem sucedida dos sistemas silvipastoris (GOBBI et al., 2007).

As principais interações existentes nos sistemas silvipastoris, segundo a OTS/CATIE (1986), são: a presença do componente animal pode mudar e acelerar a ciclagem de nutrientes; as árvores propiciam um microclima mais favorável para os animais, podendo aumentar a produção; os animais podem participar na disseminação de sementes, o que barateia sistemas de implantação; as árvores podem aumentar o valor forrageiro da área, fornecendo folhas e frutos, principalmente na época seca. No caso de altas cargas animais, pode haver problemas de compactação do solo, o que afeta o crescimento das árvores e forrageiras; a preferência alimentar dos animais pode afetar a composição dos bosques.

Sob as condições de sombreamento moderado, o crescimento de gramíneas tolerantes pode ser maior que a pleno sol. Postula-se que a umidade mais elevada associada a temperaturas amenas favoreça a mineralização do nitrogênio, pois aumenta sua disponibilidade no solo e contribui para um melhor desempenho das pastagens. A capacidade de regeneração da folha e interceptação da radiação solar são os fatores mais críticos para a produção e persistência das forrageiras, sendo a redução da luminosidade mais crítica para plantas jovens. O efeito da sombra sobre as características morfológicas e produção de matéria seca das espécies forrageiras tropicais foi bastante estudado, mas relativamente pouca coisa existe a respeito dos efeitos sobre o valor nutricional, e os resultados às vezes são conflitantes (GARCIA; COUTO, 1997).

Souza et al. (2007), em um sistema silvipastoril em Lagoa Santa, MG, encontraram teores de proteína bruta e FDA de *B. brizantha*, cv. Marandú, 2,8 e 2,1 % maiores em área sombreada por *Zeyheria tuberculosa* do que em áreas de pastagem solteira. Já Paciullo et al. (2007), em um SSP com *Brachiaria decumbens*, observaram teores de FDN 2,8% menores sob sombreamento do que a pleno sol.

Os sistemas silvipastoris podem ter como objetivo principal a produção animal, e neste caso as árvores têm um papel econômico secundário, fornecendo lenha e outros produtos, de sombra e, eventualmente, servindo como alimento para os animais. Outro caso é quando o objetivo principal é a produção florestal, de madeira, de látex (seringueira) ou de frutos, e o pastoreio tem o objetivo de auxiliar no controle de plantas invasoras e diminuir o custo da implantação florestal (ENGEL, 1999).

Dentre os benefícios da adoção desses sistemas, podem ser destacados: aumento da eficiência de uso da terra; diversificação e aumento da renda por hectare; controle da erosão; aumento da fertilidade do solo pelo aumento das atividades biológicas e da ciclagem de

nutrientes do solo e pela melhoria das características físicas; maior oferta de forragem com boa qualidade para os animais em função da melhoria da fertilidade do solo; flexibilidade no uso (corte precoce de árvores para escoras, lascas e lenha; corte mais tardio de árvores para produção de postes e de madeira para laminação; produtos florestais para uso na propriedade ou para comercialização; produtos florestais madeireiros e não madeireiros, como mel); e aumento da biodiversidade (CARVALHO et al., 2007).

Segundo Sartor et al. (2007), em regiões com ocorrência de geadas, tais como no sul do Brasil, o uso de sistemas silvipastoris pode reduzir o estresse nas plantas causado pelo frio intenso e essas se restabelecem melhor no início da primavera, por terem sofrido menores danos que plantas cultivadas a pleno sol. Esse efeito se dá pela alteração do balanço de radiação de ondas longas, como mencionado por Pereira et al. (2002).

Dentro destes sistemas a distribuição das árvores é um elemento estrutural importantíssimo, e deve seguir os seguintes critérios de planejamento: 1) finalidade de produção das árvores; 2) declividade e face de exposição do terreno; 3) proteção dos demais componentes (cultivos e/ou rebanhos); 4) conservação da água e do solo (PORFÍRIO-DA-SILVA, 2006b).

Outro aspecto associado aos sistemas silvipastoris, de acordo com Porfírio-da-Silva et al. (2008), é que esses vêm ganhando espaço e apoio nas políticas públicas, havendo, com isso, uma preocupação maior com a capacitação de técnicos e produtores para um maior conhecimento, já que essa técnica pode ser considerada inovadora. Com isso, há grande demanda pelo desenvolvimento de pesquisas que possam sanar as dúvidas que os produtores e técnicos possuem em relação aos sistemas silvipastoris, e também ampliar o conhecimento sobre as interações que ocorrem nesses sistemas, com vistas a maximizar o aproveitamento e os lucros com sustentabilidade.

### **1.1.3 Microclima em sistemas agroflorestais**

De acordo com Young (1991), as principais interações dos sistemas silvipastoris com o ambiente referem-se ao microclima (radiação solar, umidade do ar, temperatura e vento) e ao solo (erosão e fertilidade). As árvores auxiliam na estabilização do microclima, protegem os animais do calor e frio intensos, propiciam a manutenção do conforto térmico, com reflexos positivos na produtividade do rebanho (ABEL et al., 1997; NICODEMO, 2005; PORFÍRIO-DA-SILVA, 2006a).

Os efeitos complexos sobre o ambiente em sistemas silvipastoris promovem modificações no crescimento e no desenvolvimento das forragens. As árvores, ao reduzirem a luminosidade disponível para as plantas que crescem sob suas copas, têm influência sobre o valor nutritivo e aspectos morfofisiológicos determinantes da produtividade da pastagem. Castro et al. (1999) verificaram que a produção de matéria seca do *Panicum maximum*, cv. Vencedor foi 19,72% maior sob condições de sombra moderada do que a pleno sol em experimento conduzido em Coronel Pacheco, MG.

Castro et al. (2010) estudaram um sistema silvipastoril composto por *Brachiaria decumbens* e leguminosas arbóreas, em Coronel Pacheco, MG, sob diferentes níveis de sombreamento e constataram que a pastagem sob 45 % de sombreamento produziu até 2300 kg de MS ha<sup>-1</sup> a mais que a não sombreada.

Quanto ao animal ou ao rebanho, os fatores climáticos que estão atuando ao seu redor, são a temperatura, a umidade do ar, a velocidade do vento e a radiação solar. A variação destes promove reações no centro termorregulador dos animais, localizado no sistema nervoso central. O gado bovino apresenta-se particularmente sensível às condições úmidas e quentes, portanto, o oferecimento de sombra pode melhorar seu desempenho e, conseqüentemente, sua produção (NICODEMO et al., 2004).

### **1.1.3.1 Radiação solar**

Em todos os sistemas agroflorestais o plantio de árvores diminui a radiação média incidente sobre as plantas cultivadas. Essas mudanças são consideradas como uma desvantagem, principalmente em relação às plantas, exceto aquelas que sejam adaptadas à sombra. Sob céu aberto, as condições de balanço de ondas longas negativo causam, durante a noite, resfriamento, que se dá em razão da atmosfera estar mais fria do que o solo ou a vegetação; entretanto, sob a copa das árvores, o fluxo de radiação descendente de ondas longas, proveniente das árvores, é similar à perda de radiação de ondas longas pela cultura, fazendo com que o resfriamento neste espaço seja reduzido (SINGH et al., 2012).

Quando o crescimento das plantas não é afetado por déficit hídrico ou nutricional, a produtividade passa a ser basicamente controlada pela quantidade de energia radiante disponível para a cultura (MONTEITH et al., 1991).

Pezzopane et al. (2010) estudaram um cafezal sombreado com noqueira macadâmia e observaram que as árvores promoveram uma atenuação da radiação fotossinteticamente ativa

(RFA) disponível para o cafezal, com diferenças significativas entre os vários pontos amostrados dentro do sistema arborizado.

Bergez et al. (1997) avaliaram as mudanças na dinâmica da RFA em 3 sistemas silvipastoris no Reino Unido, compostos por pastagens de azevém perene (*Lolium perenne*) e as espécies arbóreas *Acer pseudoplatanus*, *Lorix x eurolepis* e *Fraxinus Excelsior* e encontraram redução da RFA da ordem de 4% para densidades de 400 árvores ha<sup>-1</sup> e de 1% para 100 árvores ha<sup>-1</sup>, porém, chegando a até 25 a 30% nas épocas em que a área foliar era máxima.

Avaliando um SAF composto por cafeeiros jovens, sombreados por guandú, Morais et al. (2006) observaram redução da radiação solar global transmitida para as plantas de café de até 90% nos meses de inverno, enquanto que nos meses de verão tal valor esteve ao redor de 20%. Isto evidencia a importância da utilização de espécies adequadas às exigências da cultura de interesse, ou que se complementem.

Feldhake (2001) estudou um sistema composto por pastagem nativa e a arbórea *Robinia pseudoacacia*, em West Virginia, EUA, e verificou que a redução da RFA que chegava à pastagem em seis distâncias em relação às árvores (0,0, 0,6, 1,8, 3,1, 4,3 e 5,5 m), na direção nordeste, foi da ordem 95%, 90%, 75%, 50%, 20% e 0%, respectivamente.

Porfírio-da-Silva (1998), trabalhando em sistema silvipastoril, concluiu que as árvores exerceram sombreamento numa razão mínima de área de sombra/área exposta ao sol de 1/4,6, ou seja, para cada unidade de área sombreada existia pelo menos 4,6 unidades expostas à radiação solar.

### 1.1.3.2 Temperatura do ar e do solo

O efeito das árvores sobre a temperatura do ar e do solo é um importante aspecto a ser considerado nos SAFs, pois a relação entre fotossíntese e respiração depende muito da temperatura ambiente, exercendo efeito vital para o acúmulo de carboidratos e o controle da sobrevivência das culturas nesses sistemas (SANCHEZ, 1995). Menores temperaturas sob a copa das árvores podem reduzir o estresse por déficit hídrico e incrementar a biomassa de plantas adaptadas ao sombreamento, se a competição por luz ou água não superar os benefícios da redução de temperatura no sistema (SINGH et al., 2012).

Menezes et al. (2002), no semi-árido brasileiro, observaram que as temperaturas máximas do solo e do ar tiveram reduções médias de 15,6 e 2,8 °C, respectivamente, em área sob a copa de árvores de *Ziziphus joazeiro*, comparada à área com a herbácea *Cenchrus*

*ciliaris* em cultivo puro. Por outro lado, a presença de árvores de *Prosopis juliflora* não teve efeito significativo sobre as temperaturas do ar e do solo e contribuiu para um decréscimo de apenas 1,4 °C da temperatura do ar sob a copa. Essa diferença entre os valores para as duas espécies arbóreas pode ser explicada pela estrutura da copa de cada uma, sendo que a copa de *P. juliflora* interceptou apenas 20 a 30% da radiação solar global, evidenciando a importância da escolha de uma espécie adequada. Estudos anteriores apresentaram reduções na temperatura do solo de 5 a 11 °C, sob as copas de *Acacia tortilis* e *Adansonia digitata* nas savanas do Quênia (BELSKY et al., 1993).

Assim, as reduções de temperatura em sistemas agroflorestais levam a menores estresses térmicos das culturas e/ou animais pelo calor excessivo. Culturas como a do algodão (*Gossypium hirsutum*) e da soja (*Glycine max*) apresentaram uma maior taxa de emergência sob condições de temperaturas mais amenas (SINGH et al., 2012).

Valentini et al. (2010) obtiveram dados que demonstraram o potencial do sistema de arborização, ao comparar cafezais sombreados e a pleno sol. Os maiores efeitos foram na redução da temperatura máxima do ar (Tmax), tornando o ambiente mais ameno para o cultivo. Esses autores verificaram que o sistema com coqueiro não reduziu a Tmax, principalmente na primavera e no verão, e com seringueira reduziu a Tmax em todas as estações do ano. A análise com valores médios da temperatura mínima (Tmin) indicou que somente no outono o aumento se tornou significativo em todos os tratamentos. Apesar disso, observou-se uma pequena tendência de aumento da Tmin em dias mais frios nos sistemas arborizados em todas as estações. Isto revela a capacidade dos sistemas arborizados em reduzir a ocorrência de eventos extremos de temperatura e com isso melhorar as condições de produção.

Marin et al., (2006), no Agreste Paraibano, observaram que num SAF, com linhas da espécie arbórea *Gliricidia sepium* e cultivo de batata nas entrelinhas, as temperaturas mínimas do ar foram similares nas posições embaixo das árvores e a 3 m de distância; entretanto, as temperaturas máximas no período de estudo foram, em média, 2 °C mais elevadas a 3 m do que embaixo da copa das árvores. Para a temperatura do solo, as mínimas foram similares a 0 e 3 m de distância das árvores; entretanto, as temperaturas máximas do solo foram inferiores sob a espécie arbórea, ao longo das quatro épocas do ano estudadas, apresentando, em geral, valores entre 24 e 31 °C, enquanto a 3 m das árvores as temperaturas máximas no solo oscilaram entre 27 e 41 °C. Ao longo do ano, a temperatura máxima do solo a 3 m de distância das árvores foi, em média, 6 °C mais alta do que debaixo da copa das árvores.

Em outro trabalho, conduzido por Morais et al. (2006), com café (*Coffea arabica*) sombreado por guandú (*Cajanus cajan*), o sombreamento reduziu a temperatura média do ar, durante a maior parte do período, especialmente durante o inverno, devido à densa cobertura vegetativa estabelecida sobre as plantas de café. Em outro exemplo de plantio de café, no cultivo a pleno sol, a temperatura máxima média do ar foi de 1,5 a 5,4 °C maior e a mínima média de 0,2 a 1,5 °C menor do que no plantio sombreado (BARRADAS e FANJUL, 1986). Segundo Silva-Pando et al. (2002), que trabalharam com sistema silvipastoril na costa Atlântica da Espanha, as temperaturas mínimas do ar foram maiores sob o dossel das árvores, enquanto que as temperaturas máximas do ar foram menores dentro do sistema em comparação com as parcelas a céu aberto.

No Sul do Brasil, Sartor et al. (2007), trabalhando com sistema silvipastoril, sob sombra de coníferas, em diferentes densidades e à pleno sol, observaram que a temperatura mínima média do ar no período de inverno foi 2,6 °C menor a céu aberto, quando comparada às condições sombreadas. Essa diferença de temperatura pode implicar na formação de geadas, quando as temperaturas são próximas de 0 °C fora do bosque.

Complementando o pensamento dos trabalhos anteriores, Feldhake (2002), estudando um sistema silvipastoril composto por coníferas, demonstrou a capacidade desse sistema em mitigar a ocorrência de geadas, devido às copas das árvores refletirem e re-emitem de volta para a superfície a radiação de ondas longas que seria perdida para a atmosfera, conservando assim mais calor dentro do sistema e minimizando o resfriamento da pastagem.

### **1.1.3.3 Umidade relativa do ar e déficit de pressão de vapor**

Segundo Monteith et al. (1991), em um sistema agroflorestal, as árvores fornecem a cobertura e é intuitivo que essa área coberta será, provavelmente, mais úmida do que uma área aberta. No entanto, não há um consenso sobre isso, já que tanto a umidade relativa (UR) como o déficit de pressão de vapor (DPV) podem variar dependendo da temperatura do ar. Assim, no interior de um SAF, durante o dia a UR tende a ser maior e o DPV menor do que o ambiente a pleno sol, enquanto que à noite essa relação se inverte, sendo a UR menor e o DPV maior do que a céu limpo. Quanto ao DPV, Barradas e Fanjul (1986) e Pezzopane et al. (2007) obtiveram menores valores em sistemas arborizados comparado com os sistemas a pleno sol. Esses autores atribuíram esses resultados à redução da temperatura no período diurno, principalmente no período da manhã, e também pela interceptação da radiação pelas espécies arbóreas.

Em relação à umidade relativa do ar, Lin (2007), empregando três níveis de sombreamento, alto (70 a 80 %), médio (35 a 65 %) e baixo (10 a 30 %), não observou diferença significativa entre os tratamentos na época úmida, entretanto, na época seca houve significância, sendo que o maior sombreamento apresentou menor umidade relativa durante a noite e maior durante o dia. Na média diária prevaleceu a redução na umidade com o aumento do sombreamento.

#### **1.1.3.4 Velocidade do vento**

As principais alterações provocadas pelos quebra-ventos são a redução da velocidade média do vento, alteração na direção do vento e mudanças na turbulência do fluxo de ar. Como resultado, o ar ao redor, e as condições para a planta e os animais são modificados (CLEUGH, 1998). Para as plantas, essas condições proporcionam, também, redução da transpiração, evitando o fechamento dos estômatos e mantendo as taxas de fotossíntese elevadas (PEREIRA et al., 2002).

A proteção proporcionada pelos quebra-ventos, afeta o rendimento das culturas direta e indiretamente. Protegendo as plantas contra os danos mecânicos diretos (quebra, acamamento e ruptura de tecidos) e modificando os efeitos microclimáticos indiretos (aumento da temperatura e umidade, e conservação da umidade do solo). Além disso, a redução da abrasão de partículas nas folhas é importante para que haja menores gastos energéticos para a manutenção da produção de muitas culturas (CLEUGH, 1998).

A atenuação da velocidade do vento, obtida pela presença organizada de árvores, também pode implicar no incremento do rendimento das pastagens basicamente devido à economia de água (redução da evapotranspiração), redução da amplitude térmica diária, e manutenção da área foliar fotossinteticamente ativa (PORFÍRIO-DA-SILVA, 1994).

Porfírio-da-Silva (1998) encontrou redução de 26 a 61% da velocidade do vento em um sistema silvipastoril. Já Pezzopane et al. (2007) encontraram redução da velocidade do vento promovida por bananeiras em consórcio com café variando de 21 a 79% em relação ao cultivo a pleno sol, com média anual de 48%. Essas variações na redução da velocidade do vento se devem à própria intensidade do vento e a fatores das plantas arbóreas, como a área foliar, densidade de plantas, estrutura da copa, altura, etc.

#### 1.1.4 Gênero *Brachiaria*

As principais espécies de gramíneas forrageiras cultivadas no Brasil pertencem aos gêneros: *Brachiaria*, *Panicum*, *Paspalum*, *Setaria*, *Andropogon* e *Cynodon*. Sem dúvida as principais delas pertencem ao gênero *Brachiaria*, destacando-se a *B. brizantha* e a *B. decumbens* em primeiro plano, além da *B. humidicola* e da *B. ruziziensis* (CORRÊA, 2002).

Segundo Valle et al. (2000), o gênero *Brachiaria* teve um papel muito importante no Brasil, pois proporcionou que a pecuária de corte se desenvolvesse em solos ácidos e de baixa fertilidade, característicos dos Cerrados, sendo atualmente, a base das pastagens cultivadas no Brasil. Além disso, esse gênero promoveu o desenvolvimento da produção de sementes de plantas forrageiras, o que fez do Brasil o maior exportador dessas sementes para regiões tropicais do mundo.

A capacidade de suporte das pastagens nos cerrados foi praticamente triplicada com a introdução da braquiária. As pastagens nativas eram utilizadas na base de três a quatro hectares por cabeça e as pastagens de capim-gordura e jaraguá nos cerrados com 0,3 a 0,6 cabeças por hectare. As braquiárias suportam em média 1 a 1,5 cabeça por hectare durante o ano. Assim, a braquiária é considerada um divisor de águas na pecuária do Brasil Central (VALLE et al., 2010).

A *B. brizantha* é a espécie forrageira mais plantada, principalmente a cultivar Marandu (MILES et al., 2004). Essa espécie é recomendada para as regiões tropicais úmidas e sub-úmidas, com precipitação pluvial por volta de 1.000 mm/ano, tolerando períodos de estiagem de três a seis meses (COOK et al., 2004). A faixa de temperatura ótima para o desenvolvimento da *Brachiaria* sp. é de 30 a 35 °C (MILES et al., 2004).

Entre os fatores que mais influenciam a produção de biomassa de espécies forrageiras destacam-se a radiação solar, a temperatura do ar, o fotoperíodo e a umidade do solo (PEDREIRA et al., 2009).

Embora a radiação solar e a temperatura sejam igualmente importantes para a produção de biomassa, elas desempenham papéis diferentes do ponto de vista ecofisiológico. A radiação está mais associada à conversão de energia luminosa em energia química do processo fotossintético (ZHU et al., 2008); enquanto que a temperatura do ar está associada à eficiência dos processos metabólicos envolvidos nessa conversão, influenciando principalmente a fase bioquímica da fotossíntese (BONHOMME, 2000).

O crescimento e o desenvolvimento de uma espécie vegetal são definidos em função da influência da temperatura nos processos metabólicos, cujos limites representam as

temperaturas basais inferior (Tbi) e superior (Tbs). Na faixa entre Tbi e Tbs a fotossíntese líquida é positiva e, assim, há condições para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Abaixo da Tbi e acima da Tbs, há interrupção dos processos metabólicos, não havendo, assim, nem crescimento e nem desenvolvimento. O conceito dos graus-dia se baseia nesses preceitos para considerar que o crescimento e o desenvolvimento vegetal apenas ocorrem quando há acúmulo de energia, expressa em termos de graus-dia (Pereira et al., 2002). Cada espécie vegetal possui suas temperaturas basais para diferentes fases fenológicas, porém, podendo-se adotar um valor único para todo o ciclo da cultura.

Na abordagem dos sistemas silvipastoris, Paciullo et al. (2008) afirmam que a *B. decumbens* apresenta plasticidade fenotípica, em resposta às variações sazonais das condições climáticas e de sombreamento, o que confere a essa espécie elevado potencial para uso em sistemas silvipastoris. Nesse trabalho, foram encontradas taxas de produção de matéria seca total iguais à condição de pleno sol, tanto para 50% como para 18% de sombreamento.

Souto et al. (2009) avaliaram a influência de quatro níveis artificiais de sombreamento (0; 25; 50 e 75%) e três épocas de avaliação (80; 95 e 110 dias após o plantio) na produção de *B. brizantha* cv. Xaraés. Esses autores concluíram que o sombreamento de 50% proporcionou maior produção de matéria seca total nas plantas e menor biomassa seca alocada para a parte aérea, devido à menor área fotossintética nas idades 95 e 110 dias após o plantio do capim. Por outro lado, no sombreamento de 75% foi observada a condição oposta, mostrando que o maior sombreamento das plantas do cultivar Xaraés muda a partição da biomassa seca alocada do sistema radicular para a parte aérea, de modo a compensar a maior competição intraespecífica por energia radiante.

Soares et al. (2009) ao avaliar o comportamento de espécies forrageiras (*B. decumbens* cv. Basilisk e *B. brizantha* cv. Marandú) sob sombreamento, demonstraram que a espécie *B. brizantha* cv. Marandú apresenta produções satisfatórias e se destaca quanto à produtividade e adaptação ao sombreamento. Além disso, plantas sombreadas apresentaram melhor qualidade, especialmente maior teor de proteína bruta na lâmina foliar e maior relação lâmina foliar/colmo, embora a produção de matéria seca tenha sido reduzida com a presença de árvores.

Em trabalho de Paciullo et al. (2007), comparando-se o cultivo de *B. decumbens* sob sombreamento de 0, 35 e 60%, concluíram que o sombreamento intenso (60%) reduziu os valores de massa de forragem, densidade de perfilhos e índice de área foliar, enquanto que o sombreamento moderado (35% de sombra) não modificou essas variáveis, em relação ao cultivo a sol pleno. O sombreamento provocou alterações morfológicas no relvado de *B.*

*decumbens*, o que contribuiu para o aumento da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e possibilitou o aumento dos teores de proteína bruta e redução dos de fibra em detergente neutro, incrementando a digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

Martuscello et al. (2009) comparando a produção de *B. decumbens* cv. Basilisk e *B. brizantha*, cultivares Marandú e Xaraés em casa de vegetação, sob diferentes níveis de sombreamento (0, 50, 70%), observaram que o capim-xaraés, por sua alta produtividade, é mais recomendável para condições de sombreamento que os capins marandú e braquiária. No entanto, é necessária a avaliação do desempenho desse capim em condições de campo natural sob sombreamento de árvores e arbustos. Quanto à produtividade da *B. decumbens*, houve aumento de produção com 50% de sombreamento, o que indica que essa planta é resistente à sombra. Ainda, constatou-se que o aumento no nível de sombreamento diminuiu a produção de forragem e o perfilhamento no capim-braquiária e nos capins marandú e xaraés, mas aumentou o teor de clorofila. Além disso, plantas dos capins braquiária, marandú e xaraés tenderam a alongar seus colmos e folhas como forma de aumentar suas exposições à luz, aumentando a altura dessas plantas.

### **1.1.5 Modelagem da produtividade de plantas**

A modelagem é proveniente de uma área de conhecimento chamada análise de sistemas, e pode ser considerada como uma organização de atributos de interesse particular, que visa conceituar, integrar e generalizar o conhecimento científico simplificando a realidade, o que resulta em uma ferramenta de auxílio (o modelo) para simulação de diversos cenários (DETOMINI, 2004).

Segundo Thompson e Formby (1998), um modelo tenta espelhar as características fundamentais de um sistema de forma a ser simples o suficiente para compreensão e manipulação e, ao mesmo tempo, próximo da realidade para proporcionar resultados relevantes. O modelo é uma representação de um sistema delimitado, que faz parte de um sistema maior, por exemplo, para uma planta (sistema complexo) a raiz, o caule e as folhas e os seus processos e mecanismos fisiológicos, como fotossíntese, crescimento, desenvolvimento e a transpiração representam sistemas individuais. Nesse contexto, a construção de um modelo é a identificação de uma série de equações matemáticas a fim de demonstrar dados que se aproximem o máximo possível do sistema analisado.

Os modelos de simulação são classificados em dois grupos principais: empíricos e mecanísticos. Os modelos empíricos são descritivos e derivam de dados observados,

normalmente são expressos em equações de regressão e não envolvem os processos fisiológicos das culturas, fornecendo informações simplificadas. Já os modelos mecanísticos estudam as relações biológicas para descrever a resposta de um sistema às condições ambientais, apresentando maiores informações sobre os processos fisiológicos e biofísicos de uma cultura (VILLEGAS et al., 2004).

### 1.1.5.1 Modelagem em plantas forrageiras

Em função da importância dos fatores ambientais na produção das forrageiras, modelos matemáticos têm sido desenvolvidos e utilizados para predição da produção em função das variáveis climáticas. A utilização de modelos para estimativa da viabilidade de produção de pastagens é descrita na literatura desde o século passado. Diversas abordagens e estudos envolvendo essas técnicas possibilitaram a previsão de parâmetros produtivos baseados em variáveis climáticas (FITZPATRICK e NIX, 1973; OMETTO, 1981; VILLA NOVA et al., 1983).

Para condições hídricas ótimas, há alguns métodos indiretos de estimativa da temperatura base inferior de pastagem cultivada em campo e sua relação com a produção, como os utilizados por Johnson e Thornley (1985) e por Pedro Júnior. et al., (1990). Nesses modelos, utiliza-se a soma térmica diária (graus-dia) para predizer o acúmulo de matéria seca de forragens. O método baseia-se na existência de uma relação direta entre a produção da planta e a temperatura do ar em determinado período.

Embora esse método proporcione estimativas razoáveis da temperatura base, ele não leva em consideração outros fatores restritivos à produção de matéria seca e pode gerar cálculos imprecisos da temperatura basal. Villa Nova et al. (1999) chegaram a essa constatação baseando-se em trabalhos sobre a sazonalidade da produção de forrageiras tropicais, nos quais se verifica que a produção máxima de matéria seca não ocorre nos meses de temperatura do ar mais elevada, e sim no início do verão, mesmo em condições irrigadas.

Villa Nova et. al. (1999) e Villa Nova et al. (2005) propuseram, para as condições de cultivo do Estado de São Paulo, modelos de estimativa de produção potencial de *Pennisetum purpureum* cv. Napier e *Brachiaria ruziziens*, baseados no acúmulo de unidades fototérmicas, um conceito que foi desenvolvido por Villa Nova et al. (1983), que busca conciliar o fotoperíodo acumulado com o acúmulo de graus-dia do ciclo de crescimento. Apesar do desempenho razoável, os autores verificaram problemas nas estimativas, especialmente em períodos de deficiência hídrica.

Com o auxílio de um modelo matemático considerando a temperatura média do ar, a radiação solar e a umidade do solo, Fitzpatrick e Nix (1973) estimaram, regionalmente, o potencial produtivo de forragem para cada região da Austrália, gerando mapas para diversas localidades de acordo com as séries históricas dos dados climáticos. Os autores concluíram que este tipo de estudo é de simples realização e viável, mas os resultados são particulares para cada região, seja em escala meso (estados) ou macro (países).

Baseado no modelo proposto por Fitzpatrick e Nix (1973), um estudo com objetivo semelhante foi realizado por Sônego (1989) para a região de Lages no Estado de Santa Catarina. O autor relatou que os modelos estimavam com eficiência as produtividades das plantas forrageiras para aquela região, obtendo-se melhor ajuste com a inclusão da temperatura base.

O mesmo enfoque foi realizado para o Estado de São Paulo, onde os autores ressaltaram a importância desse tipo de estudo para o zoneamento agrícola na região (PEDRO JÚNIOR et al., 1990; PEDRO JÚNIOR, 1995).

Apesar de a literatura ser incisiva sobre a influência da radiação solar no acúmulo de matéria seca em forrageiras, este elemento meteorológico tem sido pouco utilizado nos modelos de estimativas de produção. Entretanto, isto foi levado em conta no trabalho de Fitzpatrick e Nix (1973) e mais recentemente no trabalho de Villa Nova et al. (2004). Estes autores propuseram um modelo de estimativa da produtividade de fitomassa seca de parte aérea de *Cynodon nlemfuënsis* cv. Florico em função da radiação solar. Detomini et al. (2005) inseriram a oferta de radiação fotossinteticamente ativa em um modelo de regressão linear múltipla para a estimativa de produção de *Panicum maximum*.

Seguindo o enfoque na radiação solar, nas últimas décadas têm sido feitas pesquisas de desenvolvimento de modelos de crescimento baseados na conversão da energia solar interceptada e absorvida por culturas em biomassa vegetal. Esses modelos têm tido boa precisão na estimativa da produtividade em condições não limitantes, ou seja, na ausência de déficit hídrico e com adequada nutrição mineral.

A pressuposição fundamental desta linha de modelos é a relação linear entre o acúmulo de matéria seca de parte aérea (MS) e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFAa), que permite o ajuste de modelos simples para a estimativa da produtividade potencial de uma cultura (GOSSE et al., 1984) por meio da eficiência de utilização da radiação (EUR) pelas culturas, que matematicamente é o coeficiente de ajuste entre RFAa e MS.

Nessas condições, a linearidade da relação entre a matéria seca da parte aérea acumulada e a radiação fotossintética interceptada foi demonstrada por diversos autores para diversas culturas (MONTEITH, 1977; FRANÇA et al., 1999; RADIN et al., 2003). É importante salientar que, nesses casos, o modelo foi estendido apenas para a biomassa da parte aérea, em função da dificuldade de se medir a biomassa total. Nesse sentido, as relações de EUR podem ser distintas ao longo dos ciclos de crescimento em função da diferente partição de fotoassimilados pela planta nas distintas fases fenológicas.

A RFAa pode ser expressa como a relação entre a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) que incide sobre a vegetação e a eficiência de utilização (Ea) dessa radiação pela cultura (GOSSE et al., 1984). A eficiência da utilização depende das propriedades óticas das folhas, do arranjo de plantas (SHEEHY; COOPER, 1973; SUGYIAMA et al., 1985) e, principalmente, do índice de área foliar (IAF). Assim, a Ea pode ser estimada como função dessas variáveis (GOSSE et al., 1984; RADIN et al., 2003). O IAF é determinado pelas condições ambientais, uma vez que elas influenciam as características estruturais do dossel, e vem sendo estimado a partir de acúmulos térmicos (graus-dia acumulados) (GOSSE et al., 1984, BARNI et al., 1995).

Apesar de sua complexidade conceitual, a utilização desse tipo de modelo é fácil, porque depois de uma parametrização, as únicas variáveis de entrada passam a ser a radiação solar global incidente (para obter a RFA correspondente) e da temperatura do ar (para obter a evolução do IAF).

É importante ressaltar o ajuste deste tipo de modelo às condições de sua aplicação, principalmente no que diz respeito à determinação da relação RFA/Rg para a região de estudo e o genótipo estudado (modelo de evolução do IAF em função da temperatura).

Os modelos apresentados e utilizados para a estimativa produção de biomassa em função das variáveis climáticas são adequados apenas em condições sem restrição hídrica, e o resultado da estimativa também é denominado "produtividade potencial". A incorporação de modelos de balanço hídrico sequencial aos modelos de origem climática podem permitir a predição de parâmetros produtivos em condições de restrição hídrica.

Herrera Soto (1981) realizou um estudo com o objetivo de verificar as correlações existentes entre fatores climáticos e taxas de acúmulo de duas gramíneas tropicais (*P. maximum* cv. Colômbia e *Digitaria pentzii* cv. Pangola). O autor observou que a inclusão de um simples fator hídrico ao modelo (número de dias com chuva), além dos graus-dia e do fotoperíodo, fazia com que os dados estimados se aproximassem consistentemente dos valores observados.

As constatações de Herrera Soto (1981), Villa Nova et al. (1999), Villa Nova et al. (2005) e Detomini et al. (2005) denotam a importância de pesquisas com o objetivo de estudar a influência das condições hídricas do solo associadas aos fatores climáticos como temperatura do ar, fotoperíodo e radiação solar nos modelos de previsão da produtividade de forrageiras. A utilização de modelos que não consideram o fator hídrico dificulta sua utilização para áreas de pastagens não irrigadas, que são a maior parte das pastagens brasileiras.

O rendimento máximo da cultura em uma dada região depende das condições climáticas e, em muitos casos, é limitado pelas condições hídricas do solo. Doorenbos e Kassam (1979) demonstraram que é possível quantificar empiricamente, num modelo, o efeito da água sobre o rendimento planta. Os autores relatam um fator de correlação entre a quebra de produtividade relativa ( $1 - PA/PP$ ) e a deficiência hídrica relativa ( $1 - ETr/ETc$ ), sendo PA a produtividade atingível com déficit hídrico, PP a produtividade potencial sem déficit hídrico, ETr a evapotranspiração real da cultura e ETc a evapotranspiração máxima da cultura. O resultado dessa relação foi chamado pelos autores de “coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico” (ky).

Outra forma de penalizar a produção potencial pode ser por meio de índices, relacionando a ETr/ETc, considerando-se como deficiência hídrica os períodos em que a ETr for menor que a ETc (DOURADO NETO et al., 2004).

Para cultivares do gênero *Brachiaria* já existem parametrizações de modelos a fim de estimar a produtividade de matéria seca. Como exemplos temos os trabalhos de Giraldo et al. (1998), com *B. decumbens*, Pedreira et al (2009) e Pedreira et al (2011) para *B. brizantha* cv. Xaraés, todos com o modelo CROPGRO; Cruz (2010) com *B. brizantha* cultivares Xaraés, Marandú e Piatã, utilizando os modelos CROPGRO e GRAZPLAN. Além destes, há também trabalhos utilizando modelos empíricos, como, por exemplo, o de Tonato et al (2010).

### **1.1.5.2 Modelagem em sistemas agroflorestais**

A modelagem do crescimento e desenvolvimento de culturas em sistemas agroflorestais é muito mais complexa do que se observa em monocultivos. Essa complexidade advém da grande heterogeneidade provocada pela combinação de culturas ou pastagens com o componente arbóreo, os quais apresentam fluxos de massa e energia entre si, havendo interdependência entre eles. Assim, um modelo de simulação para tais sistemas requer não somente a simulação dos processos dinâmicos dentro de cada componente, mas também,

descrever dinamicamente as mudanças nas interações entre os seus componentes (HUTH et al., 2003).

Muitos modelos aplicados a sistemas agroflorestais são baseados em tal abstração da interação entre cultura e árvore. O modelo WaNuCAS (VAN NOORDWIJK; LUSIANA, 1999), por exemplo, utiliza uma série de zonas do solo para calcular a competição subsuperficial entre as árvores e as culturas em diferentes distâncias em relação ao componente arbóreo em questão. Esse modelo foi aplicado por Pinto et al. (2005) para estimar a produtividade de cana-de-açúcar, num sistema agroflorestal com eucalipto, em Piracicaba, SP. De modo similar, o modelo SBELTS (QI et al., 2001) simula a produção das culturas em razão de pontos distintos sob quebra-ventos, para calcular a resposta do rendimento à proteção contra o vento. Em ambos os casos, há apenas o estudo do desempenho do sistema, mas não de todos os componentes que afetam sua produtividade.

Matthews e Lawson (1997), combinaram o modelo existente para árvores HYBRID (FRIEND et al., 1997) e o para mandioca GUMCAS (MATTHEWS; HUNT, 1994), buscando avaliar várias opções de manejo agroflorestal. O modelo HYBRID também foi incorporado ao modelo HyPAR (MOBBS et al., 1997) usando-se o modelo cultural tropical PARCH (FRY; LUNGU, 1996) para simular o crescimento das culturas. Lawson et al. (1995) usou essa combinação estruturada para avaliar a produtividade das culturas sob diferentes condições ambientais, usando uma ampla gama de modelos existentes, baseados no dossel de árvores, como o MAESTRO (WANG; JARVIS, 1990) e o ERIN (WALLACE, 1996). Qi et al. (2001) empregaram o modelo CROPGRO (BOOTE et al., 1998) em suas previsões de rendimento de soja em sistemas sob quebra-ventos, enquanto que, Zamora et al. (2009), aplicaram esse modelo para estimar a produção de algodão em diferentes níveis de sombreamento, em um sistema agroflorestal com noqueira-pecã, no estado da Flórida, EUA. Já o *Agroforestry Modelling Environment* (MUETZELFELDT; TAYLOR, 1997) provê uma combinação de componentes de simulação para analisar as configurações agroflorestais, incluindo aspectos espaciais. Em outra abordagem, Huth et al. (2003) aplicaram o modelo APSIM para estimar a produtividade de eucalipto e grão-de-bico, associados em um sistema agroflorestal, pela simulação em múltiplos pontos, modelando o que ocorre estritamente em cada ponto avaliado, e buscando uma distribuição que represente a realidade do sistema como um todo.

Zuidema et al. (2005), utilizaram o modelo SUCROS-Cocoa para estimar a produção de cacau, sendo que, este modelo fisiológico é baseado nos modelos SUCROS (VAN LAAR, 1997) e INTERCOM (KROPFF; VAN LAAR, 1993), levando em conta a interceptação de luz e fotossíntese, a respiração de manutenção, o acúmulo de biomassa, além de considerar a

competição entre plantas, como no caso do sombreamento por árvores. Balandier et al. (2003) avaliaram a capacidade do modelo ALWAYS (AUCLAIR, 1996) em descrever as interações que ocorrem em sistemas silvipastoris, considerando a árvore, a pastagem e o animal. Já Brisson et al. (2004), adaptaram o modelo STICS-CA para sistemas consorciados. Johnson et al. (2009), combinando os modelos ALMANAC (KINIRY et al., 1992) e SWAT, estimaram o rendimento tanto das árvores como das culturas em sub-bosque.

Oijen et al. (2010) desenvolveram um modelo simples para a estimativa do rendimento de café, em sistemas agroflorestais, na América Central, levando em conta a fisiologia do crescimento vegetativo e reprodutivo e respondendo a diferentes condições ambientais.

O modelo *Yield-SAFE* (VAN DER WERF et al., 2007) também foi aplicado em sistemas agroflorestais. Kessman et al. (2007) avaliaram sua utilização para estimar a produtividade e o crescimento de plantas nesses sistemas, e Palma et al. (2007) o aplicaram para simular o crescimento de culturas e árvores nas regiões Atlântica e Mediterrânea da Europa. Graves et al. (2010) utilizaram-no para a mesma finalidade no sul da França e no leste da Inglaterra.

Isto tudo demonstra que muitos dos esforços em modelagem agroflorestal, levam em conta a abordagem de combinar os componentes culturais e arbóreos e tentar descrever as suas interações (HUTH et al., 2003).

### **1.1.5.3 Método da Zona Agroecológica**

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), o método da Zona Agroecológica (FAO-MZA) é utilizado para a estimativa da produtividade potencial de uma cultura, ou seja, aquela obtida por uma variedade altamente produtiva e bem adaptada ao ambiente de crescimento, sem limitações impostas nem por falta de água e nutrientes, nem por ocorrência de pragas, doenças ou plantas invasoras. Esse método tem por base a proposição de Witt (1965) para a estimativa da produtividade bruta de matéria seca por uma cultura padrão, que hipoteticamente cobre todo o terreno, sendo que a radiação solar, a temperatura do ar e o fotoperíodo local são os únicos fatores determinantes. Entretanto, para uma melhor aproximação da produtividade potencial de culturas específicas, faz-se necessário inserir correções relativas à área foliar, ao índice de colheita e à umidade da parte colhida.

Além disso, é possível calcular a produtividade atingível (PA), penalizando a produtividade potencial (PP) quando a evapotranspiração real da cultura (ET<sub>r</sub>) for menor que

a evapotranspiração máxima da cultura ( $ET_c$ ), ou seja, quando ocorrer déficit hídrico (DOORENBOS; KASSAM, 1979).

O método FAO-MZA é de fácil entendimento e aplicação em virtude da baixa exigência de dados de entrada (dados meteorológicos e da cultura), e por apresentar resultados consistentes que se aproximam da realidade, de rápida obtenção e com baixo custo. Entretanto, o modelo apresenta algumas limitações, pois não são consideradas a ocorrência de pragas e doenças, a competição com plantas invasoras e nem a fertilidade do solo. Apesar disto, tem sido bastante utilizado, por sua simplicidade e bom desempenho (OLIVEIRA et al., 2012).

Esse modelo tem sido amplamente empregado no Brasil, como por Bonnacarrère et al. (2007) para estimar a produtividade potencial e deplecionada para a cultura de milho no Rio Grande do Sul; por Andrioli e Sentelhas (2009), para determinar a sensibilidade de genótipos de milho ao déficit hídrico, nos estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Goiás; e por Santos et al. (2011) que avaliaram a produtividade de milho no estado de Minas Gerais, e sua relação com a seca, para diversos cenários de mudanças climáticas.

Montone et al. (2009) parametrizaram o FAO-MZA visando estimar a produtividade de soja nas regiões sul e centro-oeste do Brasil, e concluíram que o método permite boas inferências a nível local, mesmo sendo uma proposta originalmente voltada para a análise em macroescala. Ainda, Assad et al. (2007) utilizaram esse modelo na construção de um sistema de previsão de safras para essa cultura no Brasil, alcançando bons resultados em várias regiões. Mais recentemente, Battisti et al. (2012) e Battisti et al. (2013) utilizaram o modelo para estimar as eficiências agrícola e climática das principais culturas anuais do Rio Grande do Sul.

Monteiro e Sentelhas (2013) calibraram o FAO-MZA para estimar a produtividade de cana-de-açúcar, no estado de São Paulo, em função das condições climáticas e do manejo da cultura. Também para a cana-de-açúcar, Marin et al. (2008) utilizaram este método no cálculo do coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico ( $ky$ ), enquanto, Shrestha et al. (2010), na França, o utilizaram com esse mesmo enfoque, para a cultura da beterraba, visando a utilização do  $ky$  em outros modelos de estimativa do crescimento de plantas.

Esses trabalhos demonstram o grande potencial desse modelo em estimar a produtividade de culturas, especialmente quando o principal intuito é entender como as condições climáticas e a disponibilidade de água no solo afetam as culturas, podendo, assim, ser empregado também para a estimativa da produtividade das pastagens.

## Referências

- ABEL, N.; BAXTER, J.; CAMPBELL, A.; CLEUGH, H.; FARGHER, J.; LAMBECK, R.; PRINSLEY, R.; PROSSER, M.; REID, R.; REVELL, G.; SCHMIDT, C.; STIRZAKER, R. **Design Principles for Farm Forestry**: A guide to assist farmers to decide where to place trees and farm plantations on farms. IRDC/LWRRRRDC/FWPRDC Joint Venture Agroforestry Program, 1997. Disponível em: <http://www.mtg.unimelb.edu.au>. Acesso em: 21 jan. 2003.
- ANDRIOLI, K.G.; SENTELHAS, P.C. Brazilian maize genotypes sensitivity to water deficit estimated through a simple crop yield model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.7, p.653-660, 2009.
- ASSAD, E.D.; MARIN, F.R.; EVANGELISTA, S.R.; PILAU, F.G.; FARIAS, J.R.B.; PINTO, H.S.; ZULLO JÚNIOR, J. Sistema de previsão da safra de soja para o Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.5, p.615-625, 2007.
- AUCLAIR, D. Scientific and technical basis for silvopastoral systems in Europe. In: ETIENNE, M. (Ed.). **Western European Silvopastoral Systems**. Paris:INRA, 1996. p. 195-206.
- BALANDIER, P.; BERGEZ, J.E.; ETIENNE, M. Use of the management-oriented silvopastoral model ALWAYS: Calibration and evaluation. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 57, p. 159-171, 2003.
- BARNI, N.A.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H.; RIBOLDI, J. Rendimento máximo do girassol baseado na radiação solar e temperatura i. absorcao da radiação fotossinteticamente ativa. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 1, n. 2, p. 185-199, 1995.
- BARRADAS, V.L.; FANJUL, L. Microclimatic characterization of shaded and open-grow coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.38, p. 101-112, 1986.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PILAU, F.G. Eficiência agrícola da produção de soja, milho e trigo no estado do Rio Grande do Sul entre 1980 e 2008. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.1, p.24-30, 2012.
- BATTISTI, R.; SENTELHAS, P.C.; PILAU, F.G.; WOLLMANN, C.A. Eficiência climática para as culturas da soja e do trigo no estado do Rio Grande do Sul em diferentes datas de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.3, p.390-396, mar, 2013.
- BELSKY, A.J.; MWONGA, S.M.; AMUNDSON, R.G.; DUXBURY, J.M.; ALI, A.R. Comparative effects of isolated trees on their undercanopy environments in high and low-rainfall savannas. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 30, n.1, p. 143-155, 1993.
- BERGEZ, J.-E.; DALZIEL, A.J.I.; DUKER, C.; EASON, W.R.; HOPPE, G.; LAVENDER, R.H. Light modification in a developing silvopastoral system in the UK: a quantitative analysis. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 37, p. 227-240, 1997.

BERNARDINO, F.S.; GARCIA, R.; TONUCCI, R.G.; ROCHA, G.C.; GOBBI, K.F.; NEVES, C.L. Desempenho de novilhos de corte pastejando o sub-bosque de um sistema silvipastoril submetido a doses de fertilizante nitrogenado e duas ofertas de forragem. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, 2007. 1 CD-ROM.

BONHOMME, R. Bases and limits to using “degree.day” units. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2000.

BONNECARRÈRE, R.A.G.; DOURADO NETO, D.; MARTIN, T.N.; PEREIRA, A.R.; MANFRON, P.A. Estimativa das produtividades potencial e deplecionada da cultura de milho no Estado do Rio Grande do Sul em função das condições climáticas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.15, p.280-288, 2007.

BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; HOOGENBOOM, G.; PICKERING, N.B. The CROPGRO model for grain legumes. In: TSUJI, G.Y.; HOOGENBOOM, G.; THORNTON, P.K. (Ed.). **Understanding Options for Agricultural Production**. Dordrecht:Kluwer, 1998. p. 99-128.

BRISSON N.; BUSSIÈRE F.; OZIER-LAFONTAINE H.; TOURNEBIZE R.; SINOQUET H. Adaptation of the crop model STICS to intercropping: Theoretical basis and parameterization. **Agronomie**, Paris, v. 24, p. 409–421, 2004.

CARVALHO, M.M.; PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T. de; WENDLING, I.J.; RESENDE, A.S. de; PIRES, M. de F. de A. Experiências com SSP's no bioma Mata Atlântica na Região Sudeste. In: FERNANDES, E.N.; PACIULLO, D.S.; CASTRO, C.R.T. de; MULLER, M.D.; ARCURI, P.B.; CARNEIRO, J. da C. (Ed.). **Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2007. p. 105-136.

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

CASTRO, C.R.T.; PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; MÜLLER, M.D.; NASCIMENTO JÚNIOR, E.R. Características agronômicas, massa de forragem e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 60, p. 19-25, 2009.

CLEUGH, H.A. Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 41, p. 55–84, 1998.

COOK, B.G.; PENGELLY, B.C.; BROWN, S.D.; DONNELLY, J.L.; EAGLES, D.A.; FRANCO, M.A.; HANSON, J.; MULLEN, B.F.; PARTRIDGE, I.J.; PETERS, M.; SCHULTZE-KRAFT, R. **Tropical Forages: an interactive selection tool**. Brisbane: CSIRO, DPI&F(Qld), CIAT and ILRI, 2004. 1 CD-ROM.

CORRÊA, L.A. **Características agronômicas das principais plantas forrageiras tropicais**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2002. 5p.

CRUZ, P.G. **Produção de forragem em *Brachiaria brizantha*: adaptação, geração e avaliação de modelos empíricos e mecanicistas para estimativa do acúmulo de forragem.** 2010. 102p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

DETOMINI, E.R. **Modelagem da produtividade potencial de *Brachiaria brizantha* (variedades cultivadas Marandu e Xaraés).** 2004. 112p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

DETOMINI, E.R.; COELHO, R.D.; MONTEIRO, R.O.C. Avaliação da produção de *Panicum maximum* cv. Tanzânia sob diferentes níveis de oferta ambiental. **Pasturas Tropicais**, Cali, v. 27, n. 2, p. 26-37, 2005.

DIAS, P.F.; SOUTO, S.M.; CORREIA, M.E.F.; RODRIGUES, K.M.; FRANCO, A.A. Efeito de leguminosas arbóreas sobre a macrofauna do solo em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv Marandú. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 38-44, 2007.

DIAS-FILHO, M.B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens tropicais degradadas. In: GONZAGA NETO, S.; COSTA, R.G.; PIMENTA FILHO, E.C.; CASTRO, J.M. da C. (Ed.). SIMPÓSIO DA REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., João Pessoa, 2006. **Anais...** João Pessoa: SBZ, UFPB, 2006. p. 535-553.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**: Rome: FAO, 1979. 193p. (FAO Irrigation and drainage paper, 33).

DOURADO NETO, D.; SPAROVEK, G.; FIGUEREDO JÚNIOR, L.G.M.; FANCELLI, A.L.; MANFRON, P.A.; MEDEIROS, S.L.P. Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho deplecionada com base no balanço hídrico no solo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 359-367, 2004.

ELEVITCH, C.R.; KIM, M.W. **The overstory book**: cultivating connections with trees. Honolulu: Permanent Agriculture Resources, 2001. 414p.

ENGEL, V.L. Sistemas Agroflorestais: conceitos e aplicações. In: ENGEL, V.L. **Introdução aos Sistemas Agroflorestais**. Botucatu: FEPAF, 1999. 70p.

FELDHAKE, C.M. Microclimate of a natural pasture under planted *Robinia pseudoacacia* in central Appalachia, West Virginia. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 53, p. 297-303, 2001.

\_\_\_\_\_. Forage frost protection potential of conifer silvopastures. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, v. 112, p. 123–130, 2002

FITZPATRICK, E.A.; NIX, H.A. The Climatic Factor in Australian Grassland Ecology. In: MOORE, R.M. (Ed.) **Australian Grasslands**. Canberra: Australian National University Press, 1973. cap. 1, p. 3-36.

FRANÇA, S.; BERGAMASCHI, H.; ROSA, L.M.G. Modelagem do crescimento de milho em função da radiação fotossinteticamente ativa e do acúmulo de graus-dia, com e sem irrigação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 59-66, 1999.

FRANCO, F.S.; COUTO, S.; CARVALHO, A.F.; JUCKSCH, I.; FERNANDES FILHO, E.I.; SILVA, E.; MEIRA NETO, J.A.A. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e convencionais na zona da mata de minas gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 751-760, 2002.

FRIEND, A.D.; STEVENS, A.K.; KNOX, R.G.; CANNELL, M.G.R. A process-based, terrestrial biosphere model of ecosystem dynamics (Hybrid v3.0). **Ecological Modelling**, Amsterdam, v.95, p.249-287, 1997.

FRY, G.J.; LUNGU, C. Assessing the benefits of interventions to improve soil moisture conditions using the PARCH Crop Environment Model. In: ANNUAL SCIENTIFIC CONFERENCE, SADC-LAND AND WATER MANAGEMENT RESEARCH PROGRAMME, 5., 1996. Harare. **Proceedings...** Harare, 1996. p.119-125.

GARCIA, R.; COUTO, L. Sistemas silvipastoris: tecnologia emergente de sustentabilidade. In: SIMPÓSIO ANUAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1., 1997. Viçosa, **Anais...** Viçosa: UFV, 1997. p. 447-471.

GARRITY, D.P. Agroforestry and the achievement of the Millennium Development Goals. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 61, p. 5–17, 2004.

GIRALDO, L.M.; LIZCANO, L.J.; GIJSMAN, A.J.; RIVERA, B.; FRANCOL, H. Adaptación del modelo DSSAT para simular la producción de *Brachiaria decumbens*. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 20, n. 2, p. 2-12, 1998.

GOBBI, K.F.; GARCIA, R.; GARCEZ NETO A.F.; PEREIRA, O.G.; ROCHA, G.C. Valor nutritivo da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk submetida ao sombreamento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 44., 2007. Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: UNESP, 2007. 1 CD-ROM.

GOSSE, G.; CHARTIER, M.; LEMAIRE, G. Mise au point d'un modèle de prevision de production pour une culture de Luzerne. **Comptes Rendus Academie des Sciences**, Paris, v.298, p.541-544, 1984.

GRAVES, A.R.; BURGESS, P.J.; PALMA, J.; KEESMAN, K.J.; VAN DER WERF, W.; DUPRAZ, C.; VAN KEULEN, H.; HERZOG, F.; MAYUS, M. Implementation and calibration of the parameter-sparse Yield-SAFE model to predict production and land equivalent ratio in mixed tree and crop systems under two contrasting production situations in Europe. **Ecological Modelling**, Amsterdam, v. 221, p. 1744–1756, 2010.

GUTMANIS, D. Sistemas silvipastoris e meio ambiente. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; PEDREIRA, C.G.S.; FARIA, V.P. **Inovações Tecnológicas no Manejo de Pastagens**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 231p.

HERRERA SOTO, H.A. **Modelo simples de estimativa de produção de forragem para colônia (*Panicum maximum* Jacq.) e pangola (a-24 *Digitaria pentzii* Stent) usando**

**parâmetros climáticos.** 1981. 58p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1981.

HUTH, N.I.; CARBERRY, P.S.; POULTON, P.L.; BRENNAN, L.E.; KEATING, B.A. A framework for simulating agroforestry options for the low rainfall areas of Australia using APSIM. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 18, p. 171-185, 2003.

IPCC. **Climate Change 2013:** The physical science basis. Stockholm: IPCC, 2013. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 18 out. 2013.

JOHNSON, I.R.; THORNLEY, J.H.M. Temperature dependence of plant and crop processes. **Annals of Botany**. London, v.55, p.1-24, 1985.

JOHNSON, M-V. V.; MACDONALD, J.D.; KINIRY, J.R.; ARNOLD, J. ALMANAC: a potential tool for simulating agroforestry yields and improving swat simulations of agroforestry watersheds. **International Agricultural Engineering Journal**, Pathumtani, v.18, n. 1/2, p. 51- 58, 2009.

KEESMAN, K.J.; VAN DER WERF, W.; VAN KEULEN, H. Production ecology of agroforestry systems: A minimal mechanistic model and analytical derivation of the land equivalent ratio. **Mathematical Biosciences**, Amsterdam, v. 209, p. 608–623, 2007.

KINIRY, J.R.; WILLIAMS, J.R.; GASSMAN, P.W.; DEBAEKE, J. A general process-oriented model for two competing plant species. **Transactions American Society Agricultural Engineers**, Saint Joseph, v. 35, n. 3, p. 801-810, 1992.

KROPFF, M.J.; VAN LAAR, H.H. **Modelling crop-weed interactions**. Wallingford: CAB international, 1993. 274p.

LAL, R. Myths and scientific realities of agroforestry as a strategy for sustainable management for soils in the tropics. **Advances in soil science**, New York, v.15, p. 91-137, 1991.

LAWSON, G.J.; CROUT, N.M.J.; LEVY, P.E.; MOBBS, D.C.; WALLACE, J.S.; CANNELL, M.G.R.; BRADLEY, R.G.; SINCLAIR, F. The tree-crop interface: representation by coupling of forest and crop process-models. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.30, p.199-221, 1995.

LIN, B.B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 144, p. 85–94, 2007.

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Plano ABC**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc>>. Acesso em: 06 de março de 2014.

MARIN, A.M.P.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, E.D.; SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 555-564, 2006.

- MARIN, F.R.; LOPES-ASSAD, M.L.; ASSAD, E.D.; VIAN, C.E.; SANTOS, M.C. Sugarcane crop efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.11, p.1449-1455, 2008.
- MARTUSCELLO, J.A.; JANK, L.; GONTIJO NETO, M.M.; LAURA, V.A; CUNHA, D.N.F.V. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.7, p.1183-1190, 2009.
- MATTHEWS, R.B.; HUNT, L.A. GUMCAS: a model describing the growth of cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). **Field Crops Research**. Amsterdam, v.36, p.69-84, 1994.
- MATTHEWS, R.B.; LAWSON, G.J. Structure and applications of the HyCas model. In: AGROFORESTRY FORUM, 8., 1997. Cardiff, **Proceedings...** Cardiff: University of Wales, 1997. p. 14-17.
- MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H.; ELLIOTT, E.T. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 56, p. 27-38, 2002.
- MILES, J.W.; VALLE, C.B.; RAO, I.M.; EUCLIDES, V.P.B. Brachiariagrasses. In: MOSER, L.E.; BURSON, B.L.; SOLLENBERGER, L.E. (Ed.). **Warm-season (C4) grasses**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 2004. p.745-783.
- MOBBS, D.C.; CROUT, N.M.J.; LAWSON, G.J.; CANNELL, M.G.R. Structure and applications of the HyPAR model. In: AGROFORESTRY FORUM, 8., 1997. Cardiff. **Proceedings...** Cardiff: University of Wales, 1997. p. 14-17.
- MONTAGNINI, F.; NAIR, P.K.R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 61, p. 281-295, 2004.
- MONTEIRO, L.A.; SENTELHAS, P.C. Potential and actual sugarcane yields in southern Brazil as a function of climate conditions and crop management. **Sugar Tech**. Amsterdam, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12355-013-0275-0>>. Acesso em: 02 nov. 2013.
- MONTEITH, J.L. Climate and efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transaction of the Royal Society**, London, v. 281, p. 277-294, 1977.
- MONTEITH, J.L.; ONG, C.K.; CORLETT, J.E. Microclimatic interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 45, p. 31-44, 1991.
- MONTONE, V.O.; MARIN, F.R; BOUÇAS FARIAS, J.R. Parametrização de um modelo para estimativa da produtividade de soja para as regiões Sul e Centro-oeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBA, 2009. 1 CD-ROM.

MORAIS, H.; CARAMORI, P.H.; RIBEIRO, A.M.A.; GOMES, J.C.; KOGUISHI, M.S. Microclimatic characterization and productivity of coffee plants grown under shade of pigeon pea in Southern Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 5, p. 763-770, 2006.

MOSQUERA-LOSADA, M.R.; MORENO, G.; PARDINI, A.; MCADAM, J.H.; PAPANASTASIS, V.; BURGESS, P.J.; LAMERSDORF, N.; CASTRO, M.; LIAGRE, F.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A. Past, Present and Future of Agroforestry Systems in Europe. In: NAIR, P.K.R.; GARRITY, D. (Ed.). **Agroforestry - The Future of Global Land Use**. Amsterdam: Springer-Verlag, 2012. p. 285-312.(Advances in Agroforestry, 9).

MUETZELFELDT, R.; TAYLOR, J. The suitability of AME (the Agroforestry Modelling Environment) for agroforestry modelling. In: AGROFORESTRY FORUM, 8., 1997. Cardiff.. **Proceedings...** Cardiff: University of Wales, 1997. p. 7-9.

NAIR, P.K.R. Classification of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 3, p. 97-128, 1985.

NAIR, P.K.R. **Agroforestry systems in the tropics**. London: Kluwer, 1989. 664p.

NEVES, C.M.N.; SILVA, M.L.N.; CURI, N.; MACEDO, R.L.G.; TOKURA, A.M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de minas gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1038-1046, 2004.

NICODEMO, M.L.F.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; S. 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. (Documentos, 146)

NICODEMO, M.L.F. Sistemas silvipastoris: árvores e pastagens, uma combinação possível. In: ZOOTECA – PRODUÇÃO ANIMAL E RESPONSABILIDADE, 2005. Campo Grande. **Anais...** Campo Grande:Embrapa Gado de Corte, 2005. 1 CD-ROM.

OIJEN, M.V.; DAUZAT, J.; HARMAND, J-M.; LAWSON, G.; VAAST, P. Coffee agroforestry systems in Central America: II. Development of a simple process-based model and preliminary results. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 80, p. 361-378, 2010.

OLIVEIRA, R.A.; SANTOS, R.S.; RIBEIRO, A.; ZOLNIER, S.; BARBOSA, M.H.P. Estimativa da produtividade da cana-de-açúcar para as principais regiões produtoras de Minas Gerais usando-se o método ZAE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.16, n.5, p.549–557, 2012.

OMETTO, J.C. **Bioclimatologia vegetal**. Piracicaba: Ed. Ceres, 1981. 440p.

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

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

PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; TAVELA, R.C.; ROSSIELLO, R.O.P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa agropecuaria brasileira**. Brasília, v.43, n.7, p.917-923, 2008.

PALMA, J.H.N.; GRAVES, H.R.; BUNCE, R.G.H.; BURGESS, P.J.; FILIPPI, R.; KEESMAN, K.J.; VAN KEULEN, H.; LIAGRE, F.; MAYUS, M.; MORENO, G.; REISNER, Y.; HERZOG, F. Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 119, p. 320–334, 2007.

PEDREIRA, B.C. **Capim Xaraés sob pastejo**: respostas agronômicas e morfofisiológicas, e adaptação do modelo CROPGRO para a predição de crescimento. 2009. 111p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S.; BOOTE, K.J.; LARA, M.A.S.; ALDERMAN, P.D. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 120, p. 370-379, 2011.

PEDRO JUNIOR, M.J. Índices climáticos de crescimento para gramíneas forrageiras no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.54, n.2, p. 427-435, 1995.

PEDRO JUNIOR, M.J.; ALCANTARA, P.B.; ROCHA, G.L. **Aptidão climática para plantas forrageiras no Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1990. 27 p. (Boletim técnico, 139)

PEREIRA, A.R. Mathematical Modelling. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 31, p. 217-218, 1984. (Editorial)

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Porto Alegre: Guaíba Agropecuária, 2002. 478p.

PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JUNIOR, M.J.; GALLO, P.B. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.3, p.256–264, 2007.

PEZZOPANE, J.R.M.; MARSETTI, M.M.S.; SOUZA, J.M.; PEZZOPANE, J.E.M. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com nogueira macadâmia. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.6, p. 1257-1263, 2010.

PINTO, L.F.G.; BERNARDES, M.S.; STAPE, J.L.; PEREIRA, A.R. Growth, yield and system performance simulation of a sugarcane–eucalyptus interface in a sub-tropical region of Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.105, p. 77–86, 2005.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Sistema silvipastoril (grevílea+pastagem: uma proposição para o aumento da produção no arenito Caiuá. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1., 1994. Porto Velho. **Anais...** Colombo:Embrapa Florestas, 1994. 1CD-ROM.

\_\_\_\_\_. **Modificações microclimáticas em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta* A. Cunn. Ex. R. Br. na região Noroeste do Paraná.** 1998. 128p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

\_\_\_\_\_. **Arborização de pastagens: 1 - procedimentos para introdução de árvores em pastagens.** Colombo: Embrapa Florestas, 2006a. 8p. (Comunicado técnico, 155)

\_\_\_\_\_. Sistemas silvipastoris para a produção de carne. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 23, 2006b, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2006b. p. 297-326.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MEDRADO, M.J.S. **Planejamento do Número de Árvores na Composição de Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF).** Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 4p.(Comunicado Técnico, 219)

QI, X.; MIZE, C.W.; BATCHELOR, W.D.; TAKLE, E.S.; LITVINA, I.V. SBELTS: a model of soybean production under tree shelter. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.52, p.53-61, 2001.

RADIN, B.; BERGAMASCHI, H.; REISSER JUNIOR, C.; BARNI, N.A.; MATZENAUER, R.; DIDONÉ, I.A. Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura do tomateiro em diferentes ambientes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1017-1023, 2003.

SANCHEZ, P.A. Science in agroforestry. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 30, p. 5-55, 1995.

SANTOS, M.V.; MOTA, V.A.; TUFFI SANTOS, L.D.; OLIVEIRA, N.J.F.; GERASEEV, L.C.; DUARTE, E.R. Sistemas agroflorestais: potencialidades para produção de forrageiras no norte de Minas Gerais. In: GERASEEV, L.C.; OLIVEIRA, N.J.F.; CARNEIRO, A.C.B.; DUARTE, E.R. (Ed). **Recomendações técnicas para vencer o desafio nutricional no período da seca.** Montes Claros: UFMG, ICA, 2008. p. 99-109.

SANTOS, R.S.; COSTA, L.C.; SEDIYAMA, G.C.; LEAL, B.G.; OLIVEIRA, R.A.; JUSTINO, F.B. Avaliação da relação seca/produktividade agrícola em cenário de mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 26, n. 2, p. 313-321, 2011.

SARTOR, L.R.; ADAMI, P.F.; FONSECA, L.; MIGLIORINI, F.; COLETTI, V.; SOARES, A.B. Efeito de diferentes densidades arbóreas nas variáveis microclimáticas em um sistema silvipastoril. In: SEMINÁRIO SISTEMAS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA, 1.,2007. Dois Vizinhos. **Anais...** Dois Vizinhos.: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2007. 1 CD-ROM.

SHEEHY, B.E.; COOPER, J.P. Light interception, photosynthetic activity and crop growth rate in canopies of six temperate forage grasses. **Journal of Applied Ecology**, London, v.10, n.1, p.239-250, 1973.

SHRESTHA, N.; GEERTS, S.; RAES, D.; HOREMANS, S.; SOENTJENS, S.; MAUPAS, F.; CLOUET, P. Yield response of sugar beets to water stress under Western European conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, p. 346-350, 2010

SILVA-PANDO, F.J.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M.P.; ROZADOS-LORENZO, M.J. Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain. **Agroforestry Systems**. Amsterdam, v.56, p.203-211, 2002.

SINGH, A.K.; KUMAR, P.; SINGH, R.; RATHORE, N. Dynamics of tree-crop interface in relation to their influence on microclimatic changes: a review. **HortFlora Research Spectrum**, Meerut, v.1, n. 3, p.193-198, 2012.

SISAF – Sistema de informações de Sistemas Agroflorestais. **O que são sistemas agroflorestais** – conceito. Disponível em: < <http://servicos.cpaa.embrapa.br/sisaf/>>. Acesso em: 06 de março de 2014.

SOARES, A.B.; SARTOR, L.R.; ADAMI, P.F.; VARELLA, A.C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J.C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 443-451, 2009.

SÔNEGO, M. **Índices Agrometeorológicos e a Produção de Duas Gramíneas Tropicais**. 1988. 61p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

SOUSA, L.F.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C.; SALIBA, E.O.S; MOREIRA, G.R. Produtividade e valor nutritivo da *Brachiaria brizantha* cv. Marandú em um sistema Silvopastoril. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, n. 4, p. 1029-1037, 2007.

SOUTO, S.M.; DIAS, P.F.; VIEIRA, M.S.; DIAS, J.; SILVA, L.L.G.G. Comportamento de plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés submetidas ao sombreamento. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 279-286, 2009.

SUGIYAMA, S.; YONEYAMA, M.; TAKAHASHI, N. Canopy structure and productivity of *Festuca arundinacea* Schreb. swards during vegetative and reproductive growth. **Grass and Forage Science**, Oxford, v.40, n.1, p.49-55, 1985.

THOMPSON, A.A.; FORMBY, J.P. **Microeconomia da firma: teoria e prática**. 6.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998. 358p.

TONATO, F.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.S.; DANTAS, O.D.; MALAQUIAS, J.V. Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 522-529, 2010.

- VALENTINI, L.S.P.; CAMARGO, M.B.P.; ROLIM, G.S.; SOUZA, P.S.; GALLO, P.B. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p.1005-1010, 2010.
- VALLE, C.B.; EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M. Características das plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 17., 2000. Piracicaba, 2000. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2000. p.21-64.
- VALLE, C.B.; MACEDO, M.C.M.; EUCLIDES, V.P.B.; JANK, L.; RESENDE, R.M.S. Gênero *Brachiaria*. In: FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. (Ed.). **Plantas forrageiras**. Viçosa: UFV, 2010. 537p.
- VAN DER WERF, W.; KEESMAN, K.; BURGESS, P.J.; GRAVES, A.R.; PILBEAM, D.; INCOLL, L.D.; METSELAAR, K.; MAYUS, M.; STAPPERS, R.; VAN KEULEN, H.; PALMA, J.; DUPRAZ, C. Yield-SAFE: a parameter-sparse process-based dynamic model for predicting resource capture, growth and production in agroforestry systems. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 29, p. 419–433, 2007.
- VAN LAAR, H.H.; GOUDRIAAN, J.; VAN KEULEN, H. SUCROS 97: Simulation of crop growth for potential and water-limited production situations, as applied to spring wheat. **Quantitative Approaches in Systems Analysis**, Wageningen, v. 14, p. 1-75, 1997.
- VAN NOORDWIJK, M.; LUSIANA, B. WaNuLCAS, a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**. Amsterdam, v.43, p. 217-242, 1999.
- VILLA NOVA, N.A.; CARRETERO, M.V.; SCADUA, R. Um modelo de avaliação do crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em termos da ação combinada do fotoperíodo e da temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1983. Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1983. p.31-48.
- VILLA NOVA, N.A.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.S.; PEREIRA, A.R. Modelo para previsão da produtividade de capim elefante em função da temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 75-79, 1999.
- VILLA NOVA, N.A.; DETOMINI, E.R.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A.; PEDREIRA, C.G.S. Modelo de estimativa da produtividade de fitomassa seca de parte aérea de *Cynodon nlemfuënsis* Vanderyst var. *nlemfuënsis* cv. Florico em função da radiação solar. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 26, n. 3, p. 56-61, 2004
- VILLA NOVA, N.A.; DETOMINI, E.R.; DOURADO NETO, D.; PILAU, F.G.; PEDREIRA, C.G.S. Avaliação da produtividade potencial de *Brachiaria ruziziensis* em função de unidades fototérmicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 3, p. 443-449, 2005.
- VILLEGAS, J.R.; HERNÁNDEZ, V.A.G.; SALAZAR, J.A.C.; MUÑOS, M.L.; CASTILLO, F.S.D; ENCISO, T.O. Modelos empíricos del crecimiento y rendimiento de tomate podado a tres racimos. **Revista Fitotecnia Mexicana**, Chapingo, v. 27, n. 1, p. 63-67, 2004.

WALLACE, J.S. Modelling component transpiration in mixed plant communities. Evapotranspiration and irrigation scheduling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE, 1996. San Antonio. **Proceedings...** San Antonio, 1996. p.585-591.

WANG, Y.P.; JARVIS, P.G. Description and validation of an array model: MAESTRO. **Agricultural and Forest Meteorology**. Amsterdam, v.51, p.257-280, 1990.

WITT, C.T. **Photosynthesis of leaf canopies**. Wageningen: Pudoc, 1965. 57p. (Agricultural Research Report, 663)

YOUNG, A. Agroforestry in the control of soil erosion by water. **Agroforestry Abstracts**. London, v.1, n.2/3, p.39-48, 1988.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. Nairobi: ICRAF, 1991. 276p.

ZAMORA, D.S.; JOSE, S.; JONES, J.W.; CROPPER JUNIOR, W.P. Modeling cotton production response to shading in a pecan alleycropping system using CROPGRO. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 76, p. 423–435, 2009.

ZHU, X.-G.; LONG, S.P.; ORT; D.R. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? **Current Opinion in Biotechnology**, Amsterdam, v.19, p.153–159, 2008.

ZUIDEMA, P.A.; LEFFELAAR, P.A.; GERRITSMA, W.; MOMMER, L.; ANTEN, N.P.R. A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 84, p. 195–225, 2005.

## 2 MICROCLIMA EM SISTEMA SILVIPASTORIL

### Resumo

Os sistemas silvipastoris (SSPs) são compostos por árvores, animais e pela pastagem. Entre as alterações mais importantes nos SSPs, em relação ao ambiente, estão as referentes ao microclima (radiação solar, umidade do ar, temperatura e vento), que provocam efeitos sobre a pastagem e os animais. Esse estudo teve por objetivo monitorar as alterações do microclima de um sistema silvipastoril, em diferentes distâncias dos renques de árvores. O experimento foi realizado em área experimental de SSP, implantado em dezembro de 2007, no município de São Carlos, SP. A área foi composta por pastagem da espécie *Brachiaria decumbens* arborizada por árvores nativas dispostas linearmente. O espaçamento entre renques nesse sistema foi de 17 m, formando os piquetes, sendo estes destinados ao cultivo da espécie forrageira e à alimentação e permanência dos bovinos. Nesse trabalho foi avaliado apenas um piquete do sistema, que sofre influências de um renque de árvores a leste e outro a oeste, sendo monitoradas, continuamente as variáveis microclimáticas por meio de quatro estações meteorológicas, distribuídas em diferentes posições dentro do sistema, a 2 metros do renque leste ( $2m_L$ ), a 6 metros do renque leste ( $6m_L$ ), a 6 metros do renque oeste ( $6m_O$ ) e a 2 metros do renque oeste ( $2m_O$ ), além de uma estação instalada no posto meteorológico a 500 m do experimento, para efeito de eventuais comparações. Os resultados mostraram que a radiação solar (RS) foi a variável mais alterada com a presença das árvores, sendo determinada pela distância em relação aos renques, a projeção da copa das árvores, a declinação solar, a orientação dos renques e o horário de sombreamento. A temperatura do ar foi influenciada pelas árvores principalmente em relação aos valores máximos, sendo que a orientação das linhas de árvores no sistema (por influenciar a variação horária e sazonal da incidência de radiação solar) e a influência vertical da copa das árvores foram fatores importantes para defini-la. Quanto à umidade relativa do ar, além da distância em relação às árvores e o nível de sombreamento, a orientação dos renques também influenciou a sua dinâmica, pois determinou o acúmulo de horas consecutivas com incidência de radiação solar direta em cada ponto, conseqüentemente, provocando diferenças de acúmulo de calor entre as posições, que altera a pressão de saturação de vapor. O fluxo de calor no solo médio (FS) foi influenciado pelo sombreamento, mas, também pela redução da velocidade do vento e conseqüente redução da perda de calor latente para a atmosfera no processo de evapotranspiração, além da orientação dos renques e a declinação solar e, em épocas mais frias, da ação das copas das árvores em reter a radiação de ondas longas. A temperatura do solo, dentro do sistema, foi influenciada pelo sombreamento, pelo horário e acúmulo de horas com ou sem radiação solar direta e, no inverno, pela influência das copas das árvores, evitando a perda de radiação durante a noite. A velocidade do vento e as rajadas tiveram menores valores devido ao arranjo das árvores em renques, atuando como quebra-ventos.

Palavras-chave: Sombreamento; Orientação dos renques; Declinação solar; Radiação de ondas longas; Arranjo das árvores

### Abstract

The silvopastoral systems (SSPs) are composed by trees, animals and pasture. Among the most important changes in the SSPs, in relation to the environment, those related to the microclimate (solar radiation, air humidity, temperature and wind) are very important, since they will affect the pasture and the animals. Based on that, this study aimed to evaluate the changes in the microclimate of a silvopastoral system considering different distances from the rows of trees. The experiment was carried out at an experimental area of SSP, deployed in

December 2007 in São Carlos, SP, Brazil. The area consisted of pasture species *Brachiaria decumbens* shaded by native trees arranged linearly. The spacing between rows in this system was 17 m, forming the pickets, which were designed to cultivate the pasture species and feed the cattle during its stay in the area. In this study just one picket line system was evaluated, which was influenced by a row of trees at east and the other at west, being monitored continuously the four weather stations distributed in different positions within the area: at 6 m from the trees at east (6m<sub>L</sub>); at 6 m from the trees at west (6m<sub>O</sub>); and at 2 m from the trees at west (2m<sub>O</sub>), in order to evaluate the microclimate. Another weather station was also installed out of the SSP, in a full sun conditions, and was considered as reference. The results showed that solar radiation (RS) was the variable most affected by the presence of trees, being influenced by the distance from the rows of trees, the projection of the tree canopy, solar declination, the orientation of the rows and time. The air temperature was influenced mainly by the trees in relation to the maximum values. The orientation of the rows in the system, by influencing the seasonal and hourly variation of solar radiation, and vertical influence of the treetops were important factors for define it. In relation to the relative humidity, besides the distance from the trees and the level of shading, the orientation of the rows also influenced its dynamic, since these factors affected the number of hours per day with solar radiation incidence in each position, having influence on the saturation vapor pressure, which depends on the temperature. The soil heat flux (FS) was influenced by shading, but also by the reduced wind velocity inside the SSP, which caused a consequent reduction in latent heat loss to the atmosphere in the process of evapotranspiration. Also, the orientation of the rows and the solar declination influenced the retention of long-wave radiation within the system, mainly in the cool nights. Soil temperature within the system was influenced by shading, by time of the day and by accumulation of hours with or without direct sunshine and, during the winter, by the influence of the trees, retaining long wave radiation during the night. The wind speed and gust had low values inside the SSP, since the trees disposed in rows acted as windbreaks.

Keywords: Microclimate; Shading; Row orientation; Solar declination; Long wave radiation

## 2.1 Introdução

Os sistemas silvipastoris (SSPs) constituem uma modalidade dos sistemas agroflorestais (SAFs), em que, pastagens e árvores crescem juntas, aliando também a produção animal, sendo que o objetivo desses sistemas é aumentar a produtividade de uma forma sustentável (MIJAIL et al., 2005). Os SSPs, segundo Sharrow (1999), são os SAFs mais comuns nos países desenvolvidos, mas, também são encontrados nos trópicos.

Nas regiões tropicais da América Latina, os agricultores mantiveram árvores nas pastagens por razões como, fornecimento de sombra, madeira, lenha, proteção contra o vento e fonte de forragem em épocas de escassez de pasto (HARVEY; HABER, 1998). Além disso, esses sistemas são alternativas para reverter os processos de degradação das pastagens (NAIR et al., 2009) e ferramentas para a adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, oferecendo vários benefícios à sociedade (STEINFELD et al., 2006).

Quanto ao componente animal, o estresse térmico ocorre quando uma combinação de condições ambientais faz com que a temperatura ambiente seja maior do que a faixa termoneutra para o animal (ARMSTRONG, 1994). Em resposta a esse estresse, são desencadeadas adaptações fisiológicas e comportamentais, tais como procura por sombra, aumento da ingestão de água, vasodilatação periférica, aumento da sudorese e aumento da frequência respiratória (BLACKSHOW; BLACKSHOW, 1994; KADZERE et al., 2002), as quais podem causar a diminuição na produção animal, o que pode ser minimizado com a adoção dos SSPs.

Nos SSPs, o sombreamento provocado pela copa das árvores, altera os níveis de luminosidade e umidade para a vegetação no sub-bosque, alterando o microclima, o que, por sua vez, afeta o crescimento e o desenvolvimento das plantas (LIN et al., 1999; MENEZES et al., 2002). Dessa forma, o sucesso desses sistemas depende da escolha de espécies capazes de se adaptar às condições impostas pelo ambiente. No caso das espécies forrageiras, além de serem tolerantes ao sombreamento, devem possuir boa capacidade produtiva e serem adaptadas ao manejo e às condições edafoclimáticas da região (GARCIA; ANDRADE, 2001).

Benavides et al. (2009) afirmam que ocorrem mudanças no microclima em SSPs, tanto com árvores caducifólias quanto com perenifólias, embora variem de intensidade de acordo com as características de cada espécie. Esses autores destacam o efeito sobre a luminosidade, a dinâmica da água, o vento e a temperatura, nesses sistemas. Em busca de identificar essas alterações, vários trabalhos vêm sendo realizados nos últimos anos.

Feldhake (2009), estudando um SSP em West Virginia, EUA, tentou correlacionar a evapotranspiração (ET) na pastagem com a incidência de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), encontrando resultados melhores em dias e locais em que há alta ET, do que em dias e locais em que há baixa ET. Esse autor também destaca que os pontos onde houve maior ação de ventos predominantes obtiveram maior ET.

Lott et al. (2009), em um sistema agroflorestal na savana do Kênia, com cultivo de milho (*Zea mays*) em diferentes níveis de sombreamento, encontrou maiores valores de temperatura do meristema das folhas de milho em locais não sombreados, atingindo nos horários mais quentes do dia diferenças entre 2,5 e 8 °C. Souza et al. (2010), estudando um SSP com renques de eucalipto (*Eucalyptus spp.*) no noroeste do Paraná, observaram que a temperatura e a umidade relativa do ar não diferiram entre as posições sombreadas e as não sombreadas, exceto nos horários das 10 horas e das 18 horas, quando as não-sombreadas obtiveram valores maiores. Além, disso a presença das árvores dispostas em renques diminuiu a velocidade do vento.

Pezzopane et al. (2011) trabalharam em um sistema com cafezal arborizado por grevilea (*Grevillea robusta*) e encontraram atenuação média dos valores de radiação solar global em 26 %, com variação mensal de 24 a 30 %; redução de 35 % na velocidade média do vento; além de redução da temperatura máxima do ar e do déficit de pressão de vapor, no período diurno.

Baliscei et al. (2013), em um SSP com eucalipto, observaram redução na velocidade do vento nesse sistema, mas não constataram diferenças para a temperatura média do ar e a umidade relativa do ar em nenhum horário do dia.

Karki e Goodman (2013) compararam as diferenças no microclima de um SSP, composto por árvores jovens de Pinus (*Pinus palustris*) e pastagem de *Paspalum notatum*, e a pastagem a pleno sol, no estado da Geórgia, EUA. Esses autores verificaram que, exceto para a chuva, todas as variáveis avaliadas foram diferentes entre os dois sistemas, sendo que no SSP a temperatura do ar, a temperatura do solo a 0,05 e a 0,10 m de profundidade e o conteúdo de água no solo foram maiores, porém, a velocidade do vento, a rajada máxima, a umidade relativa do ar, a temperatura do ponto de orvalho, a radiação solar global e a RFA, foram menores.

Com base nos trabalhos da literatura fica evidente que o emprego de SSPs implica em alterações microclimáticas na área protegida pelas árvores, porém essas alterações variam para as diferentes combinações entre local, componente arbóreo, cultura e manejo destes. Assim, considerando que a presença das árvores no sistema silvipastoril modifica a dinâmica das variáveis microclimáticas para as pastagens e animais, este estudo teve por objetivo quantificar essas alterações no microclima de um sistema silvipastoril composto por renques de árvores nativas e *Brachiaria decumbens*, em diferentes posições do sistema, na região de São Carlos, SP.

## **2.2 Material e Métodos**

### **2.2.1 Caracterização do experimento**

O experimento foi realizado em área experimental de sistema silvipastoril, implantado em dezembro de 2007, pertencente à Embrapa Pecuária Sudeste, no município de São Carlos, SP (Latitude = 21°57'42"S, Longitude = 47°50'28"W, e Altitude = 860m), sob um clima Cwa na classificação de Köppen (tropical de altitude), caracterizado por verão quente e úmido e inverno seco. A área era composta por pastagem da espécie *B. decumbens* arborizada pelas

espécies arbóreas nativas: angico-branco (*Anadenanthera colubrina*), canafístula (*Peltophorum dubium*), ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*), jequitibá-branco (*Cariniana estrellensis*) e pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), nas linhas centrais, sendo estas cinco as espécies de interesse econômico; e para tutoramento destas espécies foram plantadas duas linhas marginais de mutambo (*Guazuma ulmifolia*) e de capixingui (*Croton floribundum*) mesclados, que são espécies caducifólias em caso de déficit hídrico intenso, e que tiveram a função de promover o crescimento ereto para maior valoração da madeira das espécies plantadas na linha central. As espécies de interesse econômico possuíam, em novembro de 2012, uma altura média de 3,2 m, enquanto que as espécies tutoras 7,1 m, sendo estas últimas as que exerceram maior influência sobre a pastagem.

O espaçamento entre a linha central e as linhas marginais (dispostas, tendo como parâmetro a declividade do terreno, em sentido próximo ao Norte-Sul, com leve tendência para o Nordeste-Sudoeste) é de 2,5 m e entre as árvores na mesma linha também de 2,5 m, resultando em cerca de 550 árvores ha<sup>-1</sup>, considerando todo o espaço do experimento. Sendo assim, o conjunto de uma linha central e duas linhas laterais foi chamado de renque.

O espaçamento entre renques foi de 17 m (Figura 2.1), formando as entrelinhas (piquetes), sendo estas destinadas ao cultivo da espécie forrageira *B. decumbens* e à alimentação e permanência dos bovinos. Destaca-se, ainda, que as árvores foram separadas da área de pastagem por cercas elétricas, evitando possíveis danos provocados pelos animais, resultando em uma faixa útil de pastagem de 15 m de largura.

Nesta área foram mantidos bovinos da raça Canchim, sob pastejo rotacionado, sendo que o período de ocupação em cada piquete foi de sete dias e o período de descanso de 35 dias. A taxa de lotação dos piquetes foi variável, sendo ajustada conforme a oferta de forragem, sempre priorizando uma altura de resíduo próxima a 0,20 m para a saída dos animais.

Neste trabalho foi avaliado apenas um piquete do sistema, que sofre influências de um renque de árvores a leste e outro a oeste, sendo monitoradas, continuamente as variáveis microclimáticas por meio de quatro estações meteorológicas, distribuídas em diferentes posições dentro do sistema, a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) (Figura 2.1). Estes pontos foram definidos de forma a representar as condições contrastantes dentro do sistema, e foram tomados como referência para todas as variáveis analisadas.

Foram realizadas adubações a lanço na pastagem, totalizando, por ano, 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O e 37,5 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, divididos em três aplicações na estação das

águas (07/01/2013, 15/02/2013 e 28/03/2013), conforme critério adotado no sistema. Na Tabela 2.1 está representada a análise do solo da área experimental logo no início do experimento coletada em 24 de outubro de 2012.

Tabela 2.1 – Análise de solo referente a área de sistema silvipastoril em São Carlos, SP.

pH H <sub>2</sub> O	M. O.	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	Al	CTC	S	V	m
	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmolc dm <sup>-3</sup>							%	
6,2	20	4	0,9	15	6	30	1	53	22	42	5

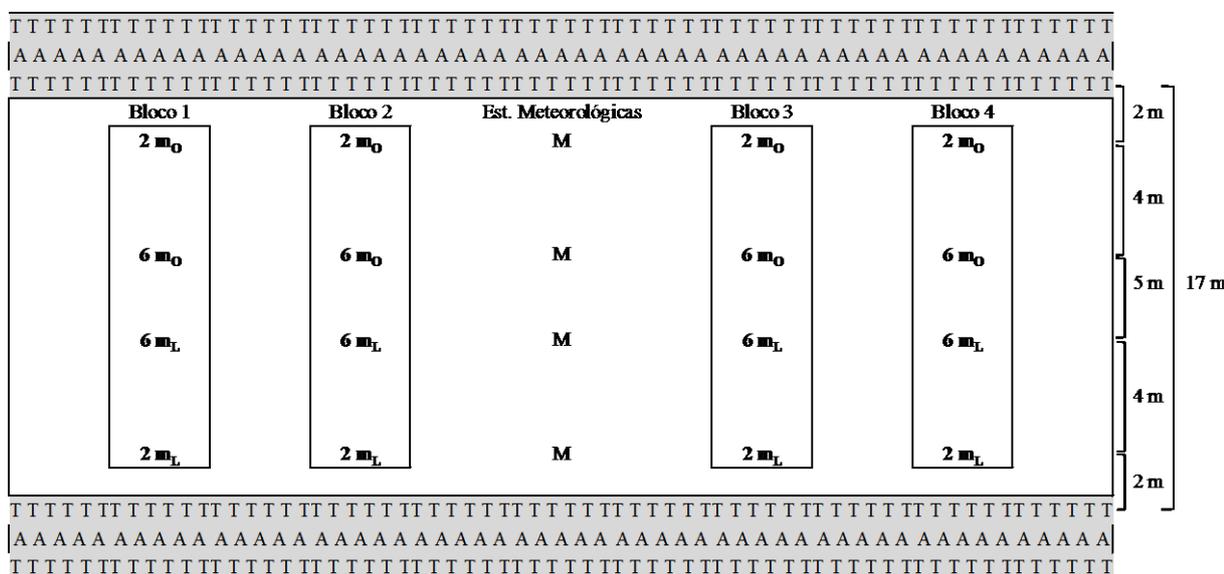


Figura 2.1 - Croqui da área experimental, representando os blocos com os pontos de coleta de dados referentes à forragem (2m<sub>L</sub>, 6m<sub>L</sub>, 6m<sub>O</sub> e 2m<sub>O</sub>) e ao microclima (M), além da distribuição das árvores tutoras (T) e das árvores de interesse econômico (A)

### 2.2.2 Coleta de dados

As estações meteorológicas foram instaladas nas quatro distâncias descritas anteriormente, com os sensores a uma altura de 0,60 m em relação ao solo, tendo, para efeito de eventuais comparações, uma estação instalada no posto meteorológico a 500 m do experimento, sob condições padrão descritas por Allen et al., (1998). As estações

monitoraram o microclima no período entre 21 de outubro de 2012 e 22 de setembro de 2013 efetuando leituras a cada dez segundos e fornecendo valores médios a cada dez minutos, horários e diários, isto para uma melhor representação das variações durante o dia e para facilitar a identificação e correção de erros nas leituras. Estas estações foram compostas dos seguintes sensores: piranômetro (Li-cor Li200X), para quantificação da radiação global; sensores de temperatura e umidade do ar (Vaisalla HMP50); anemômetro sônico horizontal (WindSonic), para mensurar a velocidade e direção do vento dentro do sistema; anemômetro de canecas (R. M. Young 03002-L), para mensurar a velocidade do vento no posto meteorológico; sensores de termopar, para avaliação da temperatura do solo a 0,05 m de profundidade e sensores de fluxo de calor no solo (Hukseflux HFP01), nesta mesma profundidade. Além disso, um pluviômetro instalado no posto meteorológico foi usado para caracterizar o regime de chuvas no local. Todos esses sensores estavam conectados a um sistema automático de coleta e armazenamento de dados, modelo CR1000, da Campbell Scientific.

### 2.2.3 Análise dos dados

Para as análises estatísticas dos dados microclimáticos, foi utilizado o procedimento GLM do SAS (SAS INSTITUTE, 2009), utilizando-se o esquema de parcela subdividida, em que a parcela foi a estação do ano e a subparcela as distâncias em relação às árvores dentro do sistema silvipastoril. Os dias de coletas foram considerados como efeito aleatório do modelo. Os efeitos fixos significativos foram comparados pelo teste Tukey a 5% de significância.

Para a Radiação Solar Global (RS), a Velocidade do Vento e o Fluxo de Calor no Solo (FS), a análise foi feita comparando-se as quatro distâncias dentro do sistema silvipastoril com o posto meteorológico, localizado externamente, em condições de pleno sol (PS), efetuando-se, para a velocidade do vento, a correção pela velocidade de partida do anemômetro de canecas ( $0,2 \text{ m s}^{-1}$ ), e a correção para 0,60 m de altura, pela equação 2.2, a qual resume a equação do perfil logarítmico do vento, expressa pela equação 2.1, descrita por Allen et al. (1998):

$$u_z = u_z * \{4,87/[\ln (67,8 * z - 5,42)]\} \quad (2.1)$$

$$u_{0,6} = 0,7316 * u_z \quad (2.2)$$

em que:  $u_2$  é a velocidade do vento a dois metros de altura,  $u_z$  é a velocidade do vento na altura  $z$  considerada.

Na análise das temperaturas do ar e do solo, a diferença mínima significativa foi considerada  $0,5^\circ\text{C}$ , enquanto que, para a umidade relativa do ar foi considerada 1%, mesmo que ocorresse diferença estatística. Isso foi considerado para evitar erros relacionados à resolução dos sensores.

## 2.3 Resultados e discussão

### 2.3.1 Radiação Solar Global

A radiação solar Global (RS) foi a variável mais alterada com a presença das árvores, devido ao sombreamento imposto por elas. A posição a pleno sol (PS) recebeu mais radiação do que as demais nas quatro estações analisadas, alcançando, em média, uma superioridade de  $12,7 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , na primavera, em relação à posição  $2m_L$  (Figura 2.2). Na primavera e no verão as posições de 6 m não diferiram entre si, mas receberam mais RS que as de 2 m. Quanto aos pontos mais sombreados, nestas duas estações,  $2m_L$  teve valores 40% menores que  $2m_O$ , isso se deve ao fato de que as árvores do renque leste eram mais frondosas e possuíam maior projeção da copa sobre a pastagem, sombreando o pasto por mais tempo e em horários em que a radiação solar global era maior, enquanto que, em relação ao renque oeste havia menor sombreamento em horários próximos ao meio-dia (Figura 2.3).

No outono e no inverno há um aumento da declinação solar, com o sol se posicionando aparentemente ao norte, o que aliado à orientação dos renques do experimento (Norte-Sul com leve tendência para Nordeste-Sudoeste), provocou um aumento do sombreamento nas posições próximas ao renque mais voltado ao norte, no caso o renque oeste. Com isso, a posição  $6m_L$  recebeu mais RS que a  $6m_O$  nessas épocas ( $1,5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  no inverno), sendo que as duas obtiveram valores maiores que as distâncias de 2 m (Figura 2.2), permanecendo a  $6m_O$  por mais horas na sombra ao longo do dia (Figuras 2.3). No que diz respeito às posições mais próximas aos renques, não houve diferença significativa na comparação de outono, porém, no inverno a RS na posição  $2m_L$  foi  $2,0 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  maior que na  $2m_O$ , evidenciando o efeito da declinação solar.

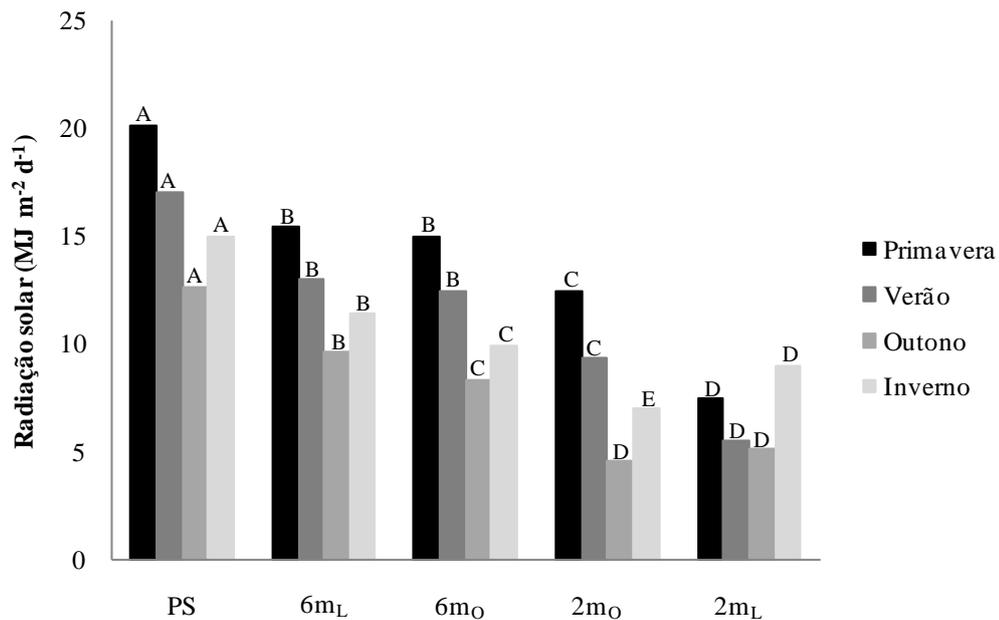


Figura 2.2 - Radiação solar global média diária, por estação do ano, incidente em cada ponto avaliado: a pleno sol (PS); a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>); a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>); a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%, na comparação entre os diferentes pontos dentro de cada estação do ano

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Feldhake (2001), em um sistema silvipastoril, em West Virginia, EUA, onde se mediu a RFA que chegava à pastagem em seis distâncias em relação às árvores, 0,0, 0,6, 1,8, 3,1, 4,3 e 5,5 m, na direção nordeste, constatando-se reduções de 95, 90, 75, 50, 20 e 0 %, respectivamente para cada distância. Entretanto, na direção sudoeste, avaliando-se as distâncias de 2,8 e 5,5 m, o autor observou redução de apenas 5 e 0 % respectivamente, destacando que a declinação solar, nesse local, proporciona maior aporte de RS para as posições a sudoeste.

Referindo-se à comparação entre os valores médios por estação do ano (Anexo A), quanto à posição do sol e aos pontos a 6 m e a 2m<sub>O</sub>, a RS decresceu na seguinte ordem: primavera, verão, inverno e outono. No ponto 2m<sub>L</sub> primavera e inverno tiveram mais RS do que verão e outono. Essa relação foi consequência da maior nebulosidade no verão e no outono e da perda de área foliar das árvores no inverno, quando ocorreu uma estiagem, permitindo maior transmissão da RS para a pastagem.

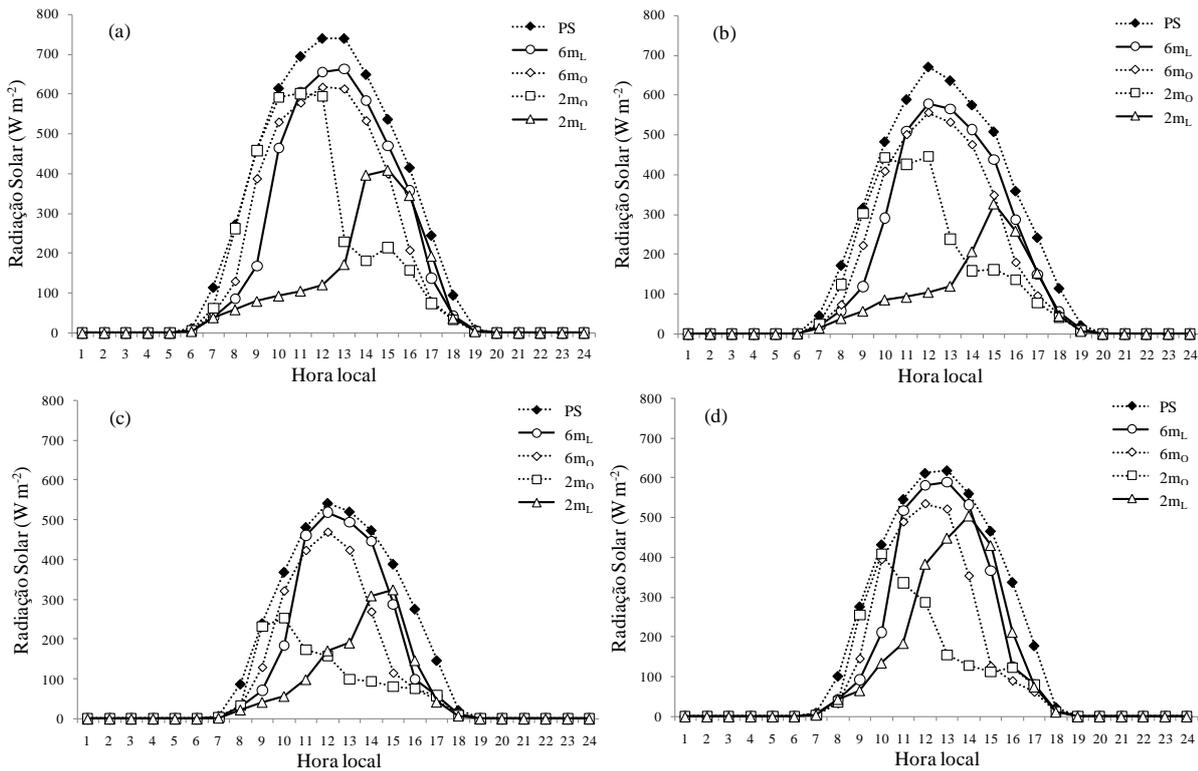


Figura 2.3 - Variação horária da radiação solar global incidente em cada ponto avaliado: a pleno sol (PS); a 6 metros do renque leste ( $6m_L$ ); a 6 metros do renque oeste ( $6m_O$ ); a 2 metros do renque oeste ( $2m_O$ ); e a 2 metros do renque leste ( $2m_L$ ), para cada estação do ano (a- primavera, b - verão, c - outono e d - inverno), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP

### 2.3.2 Velocidade do vento

A velocidade média do vento ( $V_{med}$ ) foi significativamente maior na posição PS, na primavera e no verão, principalmente no período diurno (Figura 2.5), chegando essa diferença a atingir  $0,3 \text{ m s}^{-1}$  (32 %) na primavera, em relação a  $2m_O$ , porém os pontos internos ao SSP não diferiram significativamente entre si (Figura 2.4a). Isso demonstra a importância do arranjo de plantas em renques, atuando como quebra-ventos, como destaca Porfírio-da-Silva (1998). Entretanto, esse fator perde importância em épocas de baixa  $V_{med}$ , como no outono e no inverno, em que os valores médios diários não passaram de  $0,65 \text{ m s}^{-1}$ . Assim, nessas estações, não houve diferença estatística entre todos os pontos avaliados.

Os resultados encontrados, na primavera e no verão, concordam com os obtidos por Porfírio-da-Silva (1998), com redução da  $V_{med}$  de 26 % a 61 % em SSP, e por Pezzopane et al. (2007), com redução entre 21 e 79 %, em cultivo de café sombreado por bananeiras em relação ao plantio a pleno sol, durante todo o ano, com média anual de 48 %.

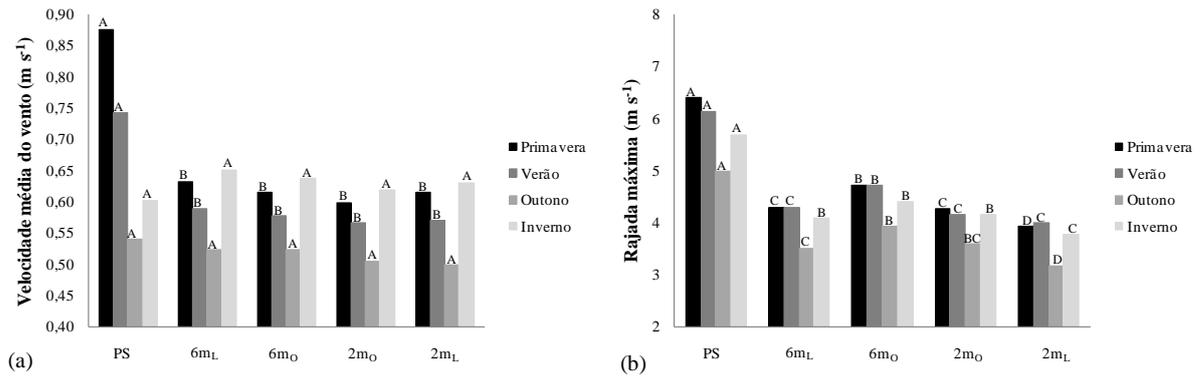


Figura 2.4 - Velocidade média do vento (a) e rajadas máximas (b), por estação do ano, em cada ponto avaliado (a pleno sol - PS, a 6 metros do renque leste - 6m<sub>L</sub>, a 6 metros do renque oeste - 6m<sub>O</sub>, a 2 metros do renque oeste - 2m<sub>O</sub> e a 2 metros do renque leste - 2m<sub>L</sub>), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%, na comparação entre os diferentes pontos, dentro de cada estação do ano

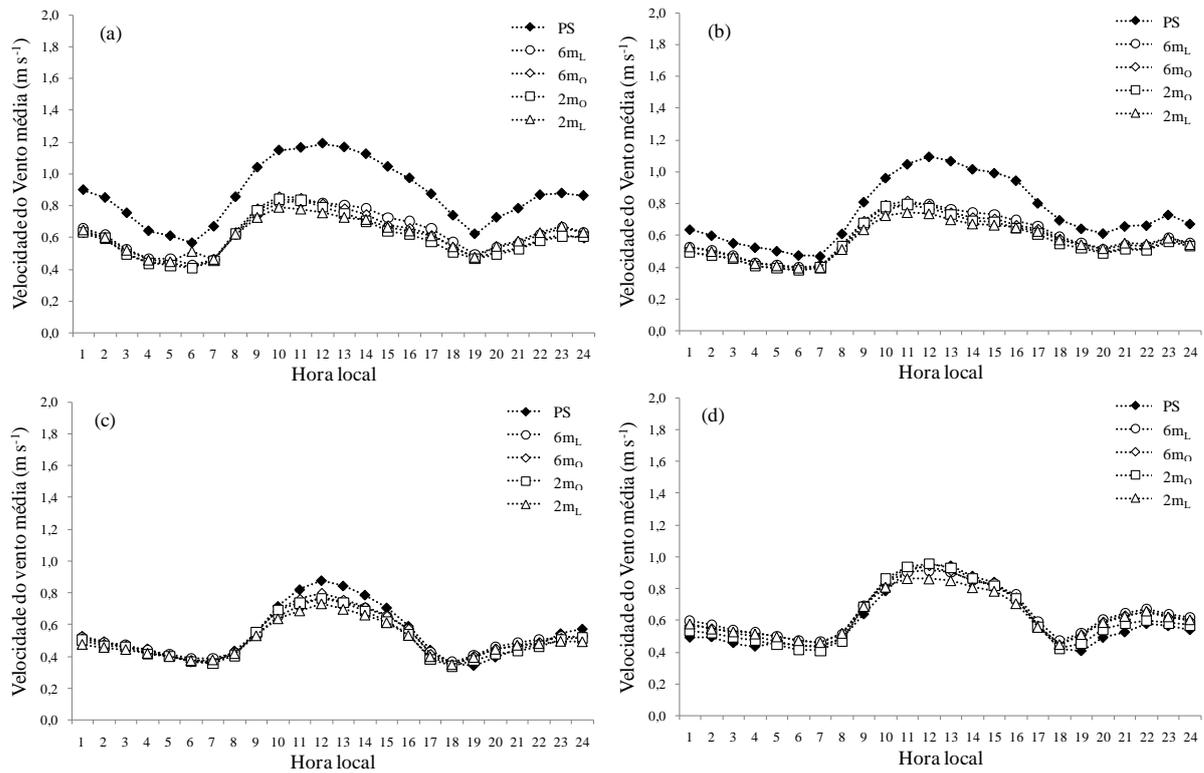


Figura 2.5 - Variação horária da velocidade do vento, em cada ponto avaliado: a pleno sol (PS); a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>); a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>); a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>); e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), por estação do ano (a - primavera, b - verão, c - outono e d - inverno), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP

Avaliando-se os valores de rajada máxima média (RJmax), percebe-se uma maior importância dos renques em diminuir a velocidade do vento quando esta atinge valores muito altos. Assim sendo, a posição PS sofreu rajadas mais intensas do que os pontos no interior do

SSP, alcançando diferenças de até  $2,5 \text{ m s}^{-1}$  em relação à posição  $2m_L$  na primavera (Figura 2.4b). Já as diferenças observadas entre as diferentes posições no interior do SSP foram controladas, basicamente, pela direção do vento no momento das rajadas e pela distância em relação às árvores. Essas reduções da  $RJ_{max}$  podem ser importantes para evitar danos mecânicos às plantas e condições de estresse aos animais (NICODEMO et al., 2004).

### 2.3.3 Temperatura do ar

A temperatura do ar foi influenciada pelas árvores, principalmente em relação aos valores máximos. No que diz respeito às temperaturas média ( $T_{med}$ ) e mínima ( $T_{min}$ ) do ar não houve diferenças significativas na comparação entre as distâncias (Figura 2.6). Essa igualdade se deve ao fato de que as posições que possuíam as menores temperaturas no período da manhã eram as que possuíam as maiores temperaturas à tarde (Figura 2.7), o que acabou compensando as diferenças no cálculo da média diária.

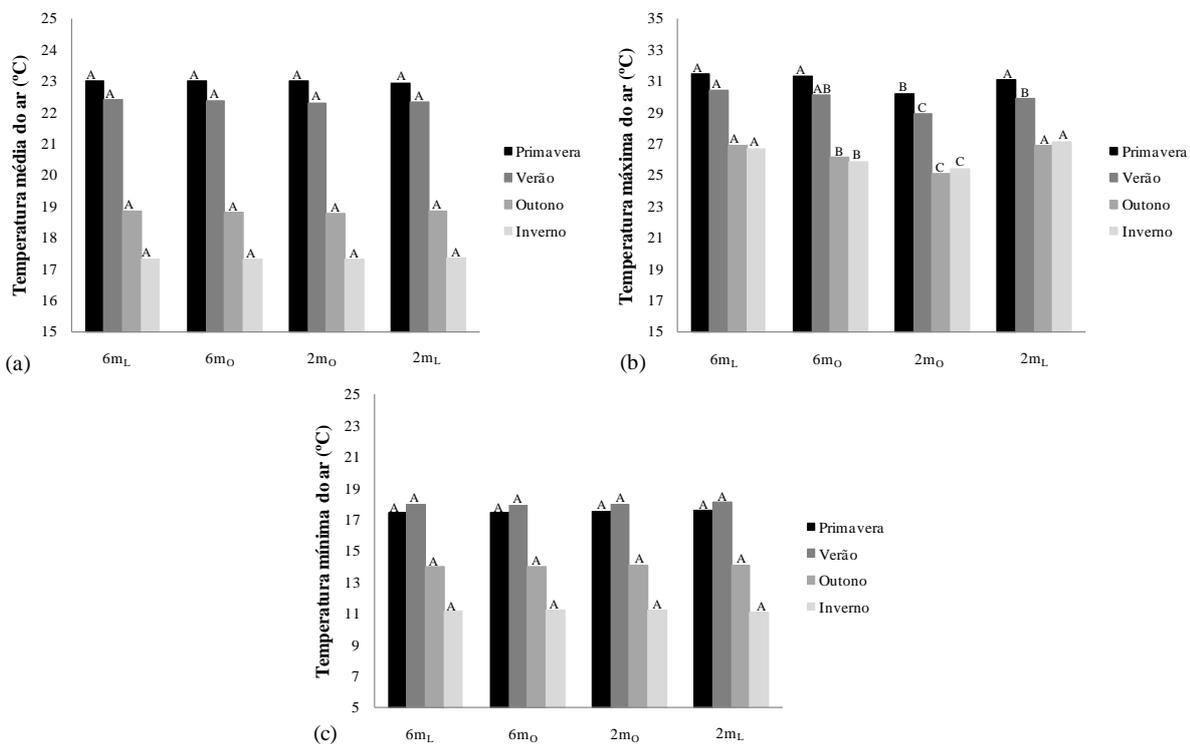


Figura 2.6 - Médias das temperaturas médias (a), máximas (b) e mínimas (c) do ar, por estação do ano, em cada ponto avaliado: a 6 metros do renque leste ( $6m_L$ ); a 6 metros do renque oeste ( $6m_O$ ); a 2 metros do renque oeste ( $2m_O$ ); e a 2 metros do renque leste ( $2m_L$ ), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%, na comparação entre as diferentes distâncias, dentro de cada estação do ano

Porém, para temperatura máxima do ar ( $T_{max}$ ), o ponto  $2m_O$  teve valores menores que os demais pontos em todas as épocas, chegando a reduções de até  $1,7^{\circ}C$  no inverno, em relação ao  $2m_L$ . Isso ocorreu porque nos horários do dia com maior temperatura do ar, a posição  $2m_O$  estava na sombra, enquanto a  $2m_L$  recebia radiação (Figura 2.7), além de esta última possuir maior influência da copa, fazendo com que o balanço de ondas longas seja afetado, conservando mais energia nessa posição, assim como observado por Feldhake (2002). No verão, a  $T_{max}$  na posição  $6m_L$  foi maior que nas posições a 2 m, chegando a diferenças de  $1,5^{\circ}C$  quando comparada a  $2m_O$ , por possuir maior aporte de radiação. No outono e no inverno, as posições referentes ao renque leste tiveram maiores valores de temperatura, devido à maior incidência de radiação solar nessa época e também à maior retenção de ondas longas no sistema pela copa das árvores na posição  $2m_L$ . Esses resultados demonstram que a orientação das linhas de árvores no sistema, por influenciar a variação horária e sazonal da incidência de radiação solar, e a influência vertical da copa das árvores, alterando o balanço de ondas longas, são fatores importantes para definir em que pontos do sistema ocorrerão redução ou aumento da  $T_{max}$ .

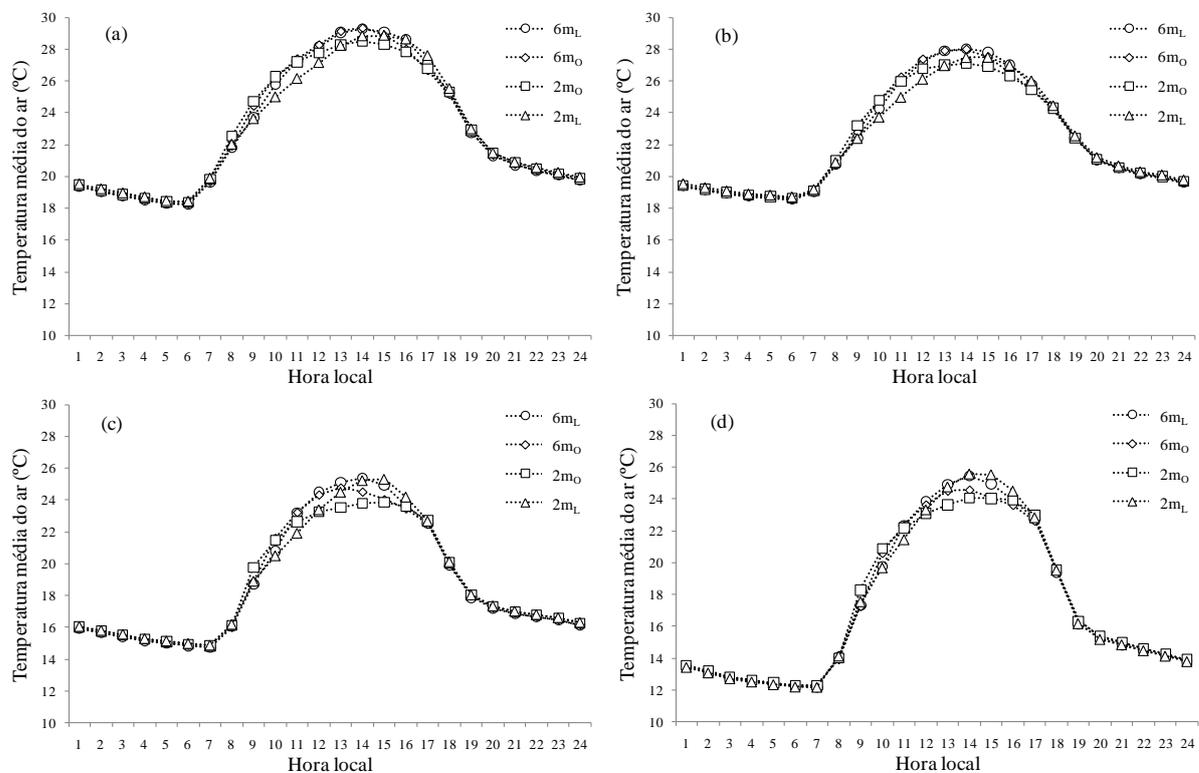


Figura 2.7 - Variação horária da temperatura do ar, em cada ponto avaliado: a 6 metros do renque leste ( $6m_L$ ); a 6 metros do renque oeste ( $6m_O$ ); a 2 metros do renque oeste ( $2m_O$ ); e a 2 metros do renque leste ( $2m_L$ ), por estação do ano: (a - primavera, b - verão, c - outono e d - inverno), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP

Os resultados encontrados corroboram com os de Marin et al., (2006), no Agreste Paraibano, estudando um SAF, com linhas da espécie arbórea *Gliricidia sepium*, que observaram que as temperaturas mínimas do ar foram similares nas posições sob as árvores e a 3 m de distância e que as temperaturas máximas foram, em média, 2 °C mais elevadas a 3 m do que sob a copa das árvores. Também Barradas e Fanjul (1986), em plantio de café arborizado, observaram que no cultivo a pleno sol a temperatura máxima média do ar foi de 1,5 a 5,4 °C maior do que no plantio sombreado.

Na comparação entre as estações do ano, para Tmed e Tmin, na primavera e no verão não foram observadas diferenças, no entanto, tais temperaturas foram maiores do que as observadas no outono, enquanto que no inverno foram observados os menores valores entre todas as estações (Anexo B). Para a Tmax, na posição 6m<sub>L</sub>, os maiores valores foram observados na primavera e no verão, entretanto, nas demais posições a Tmax foi maior na primavera do que no verão, sendo que ambas apresentaram Tmax mais elevadas do que no outono e no inverno.

#### **2.3.4 Umidade do ar**

Para a umidade do ar, foram avaliadas as variáveis umidade relativa do ar média (URmed), máxima (URmax) e mínima (URmin), déficit de pressão de vapor médio (DPV) e pressão atual de vapor média (ea). Destas apenas as variáveis relativas à umidade relativa do ar (UR) apresentaram diferença significativa na comparação entre as diferentes posições do SSP.

Para URmed no verão e no outono não houve diferença significativa entre as distâncias, com valores entre 79 e 81 %, pois essas estações foram chuvosas e com alta umidade, concordando com os resultados de Lin (2007). Entretanto, na primavera e no inverno a distância 2m<sub>L</sub> foi a que apresentou UR mais elevada em comparação às posições relativas ao renque oeste, com diferença de até 1,8 % em relação à posição 6m<sub>O</sub> no inverno (Figura 2.8a). Isso se deve ao horário de sombreamento, que no caso da posição 2m<sub>L</sub> foi pela manhã, quando ocorrem temperaturas do ar menores do que à tarde e, conseqüentemente, menor pressão de saturação de vapor (es). Isso é mais importante nas épocas mais secas, como no caso do inverno, pois a ea é baixa.

A URmax no verão e no outono foi maior na posição 6m<sub>O</sub> em relação às demais, chegando a uma diferença de até 1,9 % quando comparada à posição 2m<sub>O</sub> no outono (Figura 2.8b). Isso ocorreu em razão da posição 6m<sub>O</sub>, nos horários de ocorrência de maior UR (entre às 5 e às 6 horas da manhã) (Figura 2.9), atingir o seu máximo número de horas sem radiação solar direta e, conseqüentemente, menor calor disponível. Isso não ocorreu com a posição 2m<sub>O</sub> porque as copas das árvores evitam maiores perdas de calor durante a noite. Porém, na primavera e no inverno, essa relação perde importância, devido aos valores mais baixos de ea, para os horários considerados, fazendo com que a UR na posição 6m<sub>O</sub> seja diferente apenas da observada na posição 2m<sub>O</sub>.

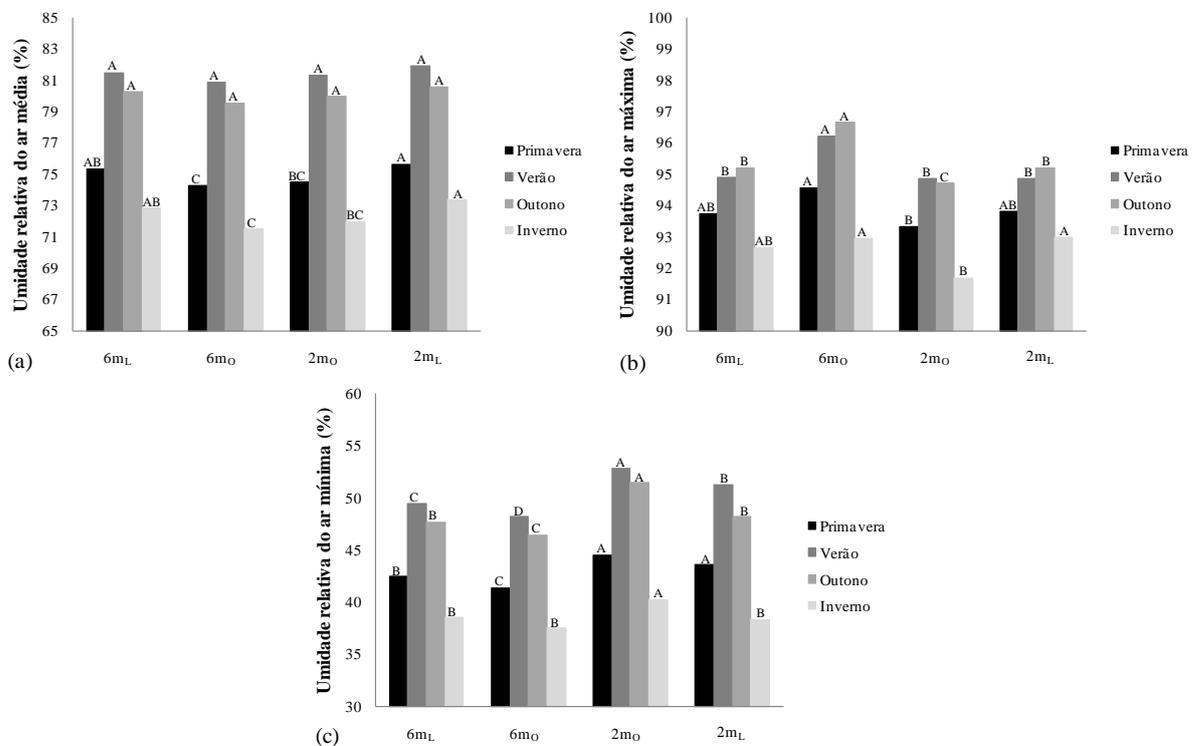


Figura 2.8 - Médias da umidade relativa do ar média (a), máxima (b) e mínima (c), por estação do ano, em cada ponto avaliado: a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>); a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>); a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>); e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%, na comparação entre as diferentes distâncias, dentro de cada estação do ano

Para a URmin, a posição 6m<sub>O</sub> apresentou menores valores do que as demais distâncias, na primavera, no verão e no outono, chegando a uma diferença de até 4,6 % em relação a 2m<sub>O</sub> no verão (Figura 2.8c). Isso se deve ao maior tempo de exposição deste ponto à radiação solar direta, no horário em que ocorrem os menores valores de UR (entre as 13 e as 14 horas). Por

outro lado, na posição 2m<sub>O</sub> foram observados os maiores valores de UR<sub>min</sub> no verão, no outono e no inverno, pois é a única que esteve sombreada neste horário de pico.

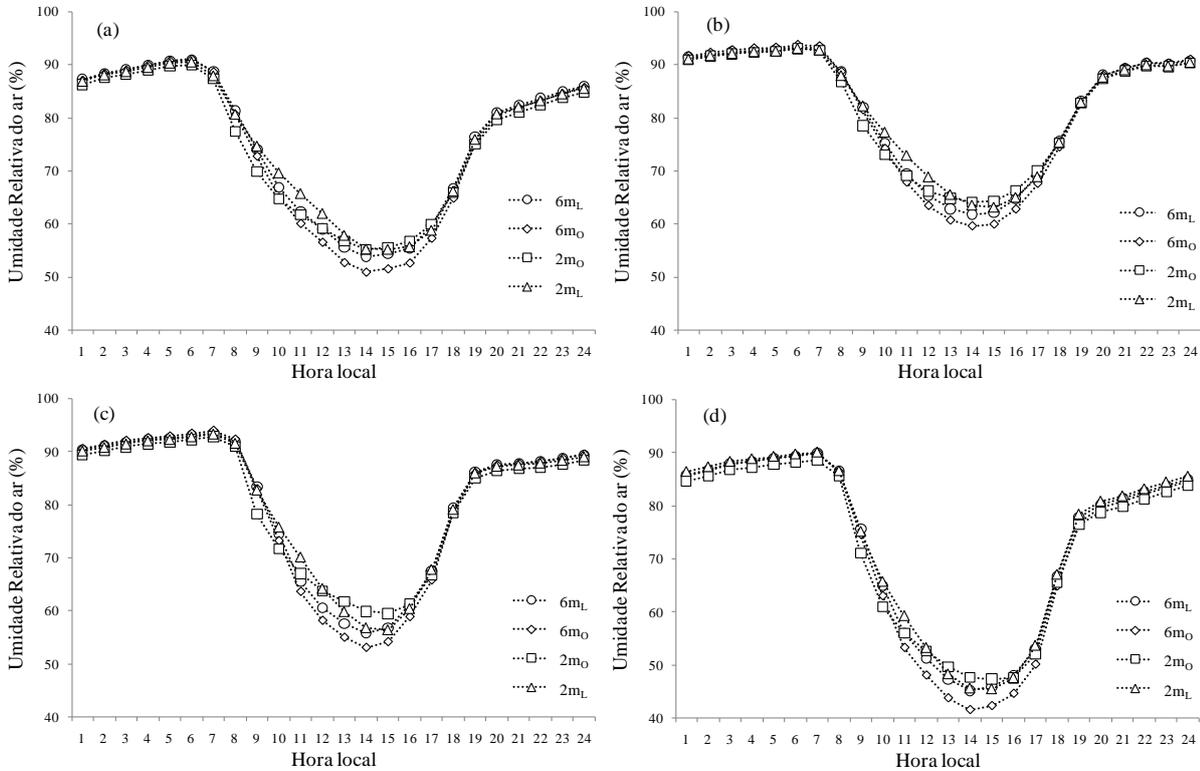


Figura 2.9 - Variação horária da umidade relativa do ar em cada ponto avaliado: a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>); a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>); a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>); e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), por estação do ano (a – primavera; b – verão; c – outono; e d - inverno), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP

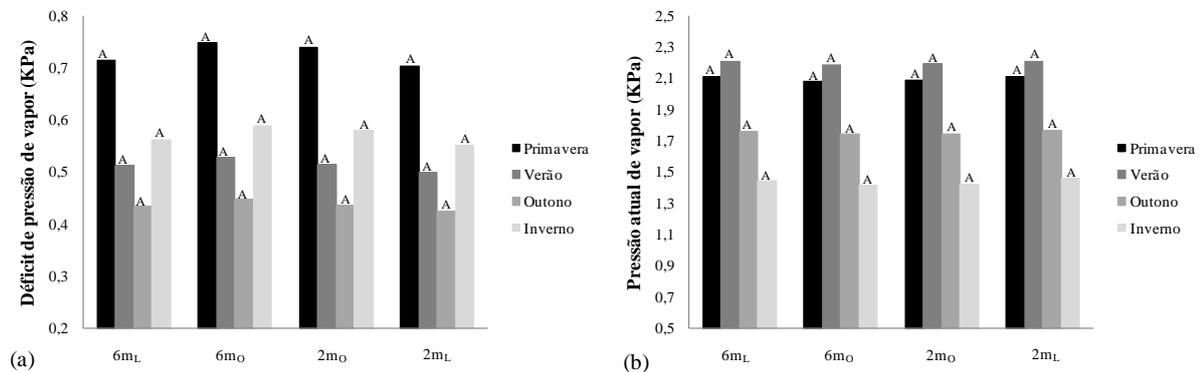


Figura 2.10 - Médias do déficit de pressão de vapor (a) e da pressão atual de vapor (b), por estação do ano, em cada ponto avaliado: a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>); a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>); a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>); e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%, na comparação entre as diferentes distâncias, dentro de cada estação do ano

Por meio desses resultados, pode-se inferir que, além da distância em relação às árvores e ao nível de sombreamento, a orientação dos renques também influencia a dinâmica da UR em sistemas silvipastoris.

### 2.3.5 Fluxo de calor no solo

O fluxo de calor no solo (FS) foi altamente influenciado pela presença das árvores. Na primavera, a posição PS absorveu menos calor do que as distâncias de 6 m(até  $0,33 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  em relação a  $6\text{m}_O$ ), porém não diferindo das distâncias de 2 m (Figura 2.11). Isso, provavelmente, foi consequência da maior velocidade do vento externamente ao SSP e da sua maior perda de calor latente para a atmosfera no processo de evapotranspiração, superando o efeito do maior aporte de RS neste local. Por outro lado, a posição  $6\text{m}_O$  obteve valores 24 % maiores do que a de  $6\text{m}_L$ , pois não foi sombreada no período da manhã, estando com o solo mais aquecido ao meio-dia, horário em que ocorre o pico de radiação solar. No verão, período com grande nebulosidade, apenas as distâncias de 6 m tiveram FS positivo, sendo que a posição  $6\text{m}_O$  alcançou os maiores valores de FS ( $0,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), seguindo o mesmo padrão do que ocorreu na primavera.

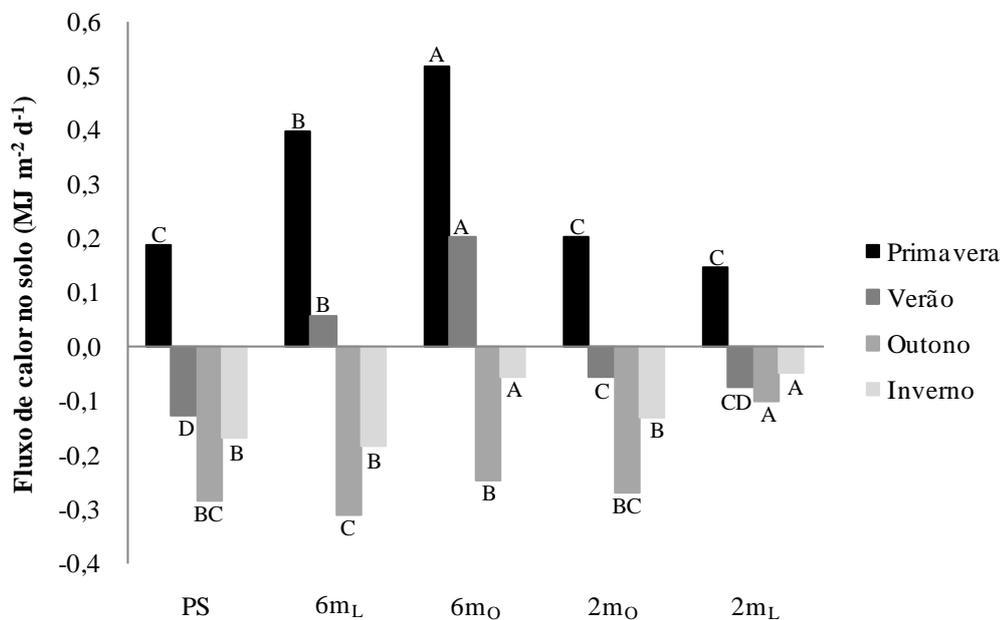


Figura 2.11 - Fluxo médio de calor no solo, por estação do ano, em cada ponto avaliado (a pleno sol - PS, a 6 metros do renque leste -  $6\text{m}_L$ , a 6 metros do renque oeste -  $6\text{m}_O$ , a 2 metros do renque oeste -  $2\text{m}_O$  e a 2 metros do renque leste -  $2\text{m}_L$ ), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%, na comparação entre os diferentes pontos, dentro de cada estação do ano

No outono, em todos os pontos o FS foi negativo, o que ocorreu com menor intensidade na posição  $2m_L$ , pela ação das copas das árvores em reter a radiação de ondas longas no local e pelo aumento do número de horas com incidência de radiação solar direta nesse ponto, devido à maior declinação solar nessa época. No inverno, esses fatores continuaram sendo importantes para  $2m_L$ , porém, esta não diferiu de  $6m_O$ , pois ocorreram maiores valores de radiação solar global em relação ao outono, consequência do decréscimo na nebulosidade, aumentando a absorção de calor pelo solo neste último ponto.

Na análise entre estações do ano, na primavera houve um maior fluxo de calor no solo durante o dia em todas as posições (Anexo A), no entanto, nas posições a 6 m das árvores houve um decréscimo gradativo no FS ao longo do verão, do inverno e do outono, enquanto que na posição  $2m_L$ , não houveram diferenças entre essas três estações do ano, evidenciando a influência das copas das árvores em evitar o resfriamento do solo, dependendo da orientação dos renques.

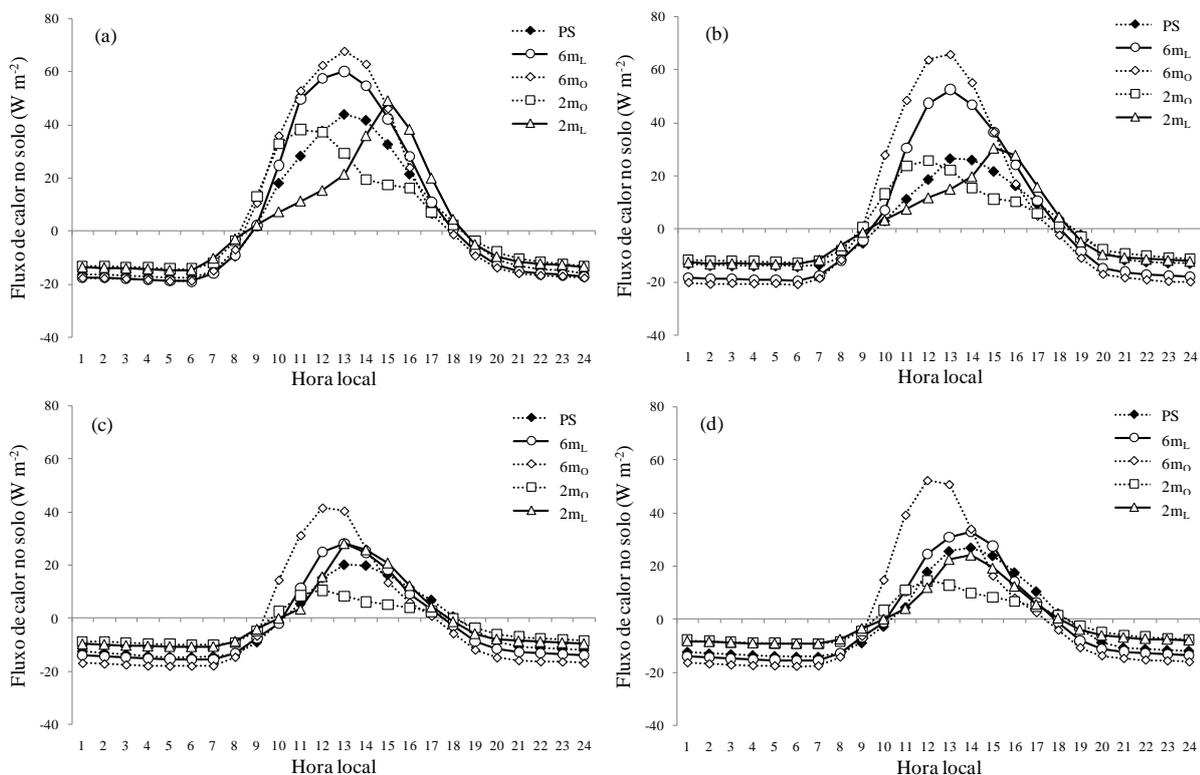


Figura 2.12 - Variação horária do fluxo de calor no solo, em cada ponto avaliado: a pleno sol (PS); a 6 metros do renque leste ( $6m_L$ ); a 6 metros do renque oeste ( $6m_O$ ); a 2 metros do renque oeste ( $2m_O$ ); e a 2 metros do renque leste ( $2m_L$ ), por estação do ano (a - primavera, b - verão, c - outono e d - inverno), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP

### 2.3.6 Temperatura do solo a 0,05 m de profundidade

A temperatura média do solo ( $T_{medsolo}$ ) na primavera foi maior na posição  $6m_O$  em comparação às demais (Figura 2.13a), o que se deveu ao maior FS no período diurno nessa posição. No verão, nas posições a 6 m do renque de árvores, o solo ficou mais quente que nas de 2 m, em até 1,8 °C. No outono, na posição  $2m_O$  a temperatura do solo foi menor do que nas demais, devido ao seu maior sombreamento, fator que também foi observado durante o inverno, quando o solo na posição  $2m_L$  foi 0,9 °C mais quente do que na  $2m_O$ .

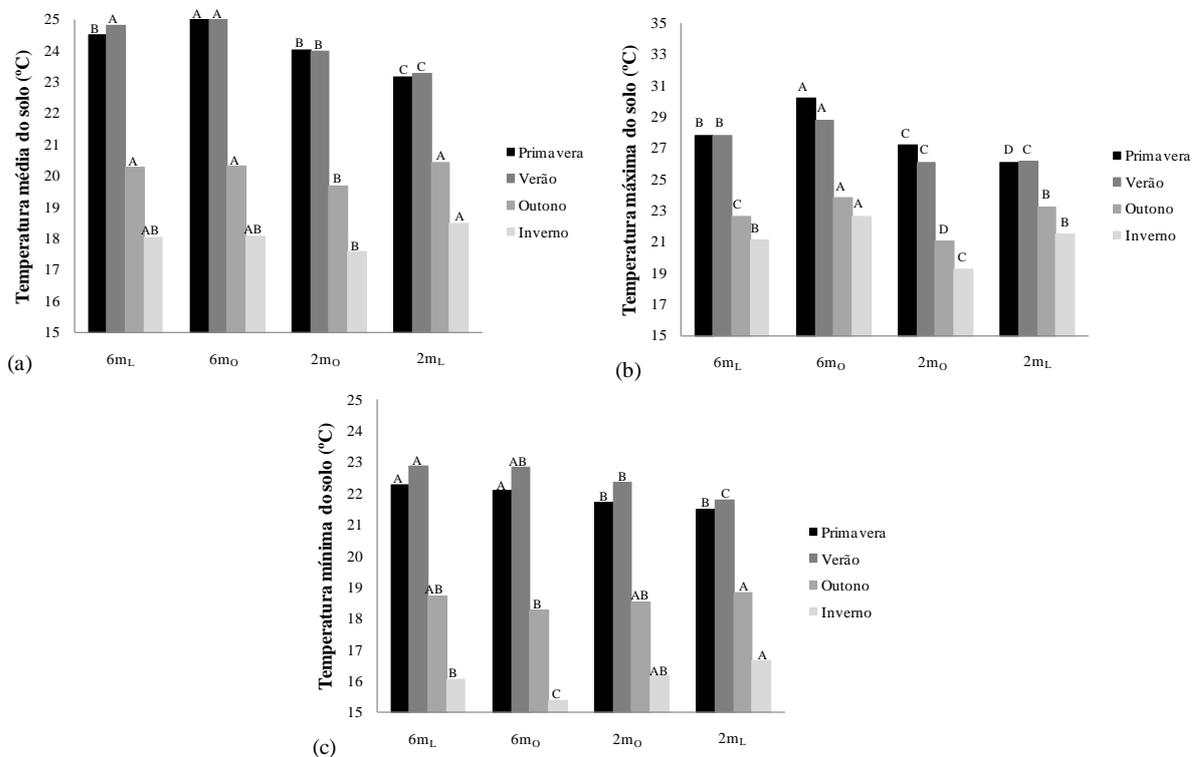


Figura 2.13 - Médias das temperaturas médias (a), máximas (b) e mínimas (c) do solo em cada estação do ano, em cada ponto avaliado: a 6 metros do renque leste ( $6m_L$ ); a 6 metros do renque oeste ( $6m_O$ ); a 2 metros do renque oeste ( $2m_O$ ); e a 2 metros do renque leste ( $2m_L$ ), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%, na comparação entre as diferentes distâncias, dentro de cada estação do ano

A temperatura máxima do solo ( $T_{maxsolo}$ ) foi maior na posição  $6m_O$  do que nas demais em todas as épocas do ano, chegando a superar em até 4,1 °C a  $T_{maxsolo}$  na posição  $2m_L$ , na primavera (Figura 2.13b). A orientação dos renques e o horário de exposição à RS foram determinantes para essa relação, estando a posição  $6m_O$  mais aquecida que as demais no horário de ocorrência da  $T_{maxsolo}$ , normalmente próximo ao meio-dia (Figura 2.14). Esse resultado é confirmado por Marin et al. (2006) em um SAF no Agreste Paraibano. Esses

autores observaram que ao longo do ano a  $T_{\text{maxsolo}}$  a 3 m de distância das árvores foi, em média,  $6^{\circ}\text{C}$  mais elevada do que debaixo da copa das árvores.

Para a temperatura mínima do solo ( $T_{\text{minsolo}}$ ), o principal fator determinante durante a primavera e o verão foi o sombreamento (Figura 2.13c). No outono e no inverno, o horário de sombreamento voltou a ganhar importância, pois, no horário de ocorrência da  $T_{\text{minsolo}}$ , entre as 6 e as 7 h da manhã, a posição  $6m_{\text{O}}$  não recebia RS direta por 17 h consecutivas, enquanto que na posição  $2m_{\text{L}}$  por 13 h. Aliando-se isso ao fato de que as copas das árvores evitam a perda de radiação de ondas longas durante a noite, a posição  $6m_{\text{O}}$  apresentou os menores valores de  $T_{\text{minsolo}}$  em relação à  $2m_{\text{L}}$ , chegando a uma diferença de  $1,2^{\circ}\text{C}$  no inverno.

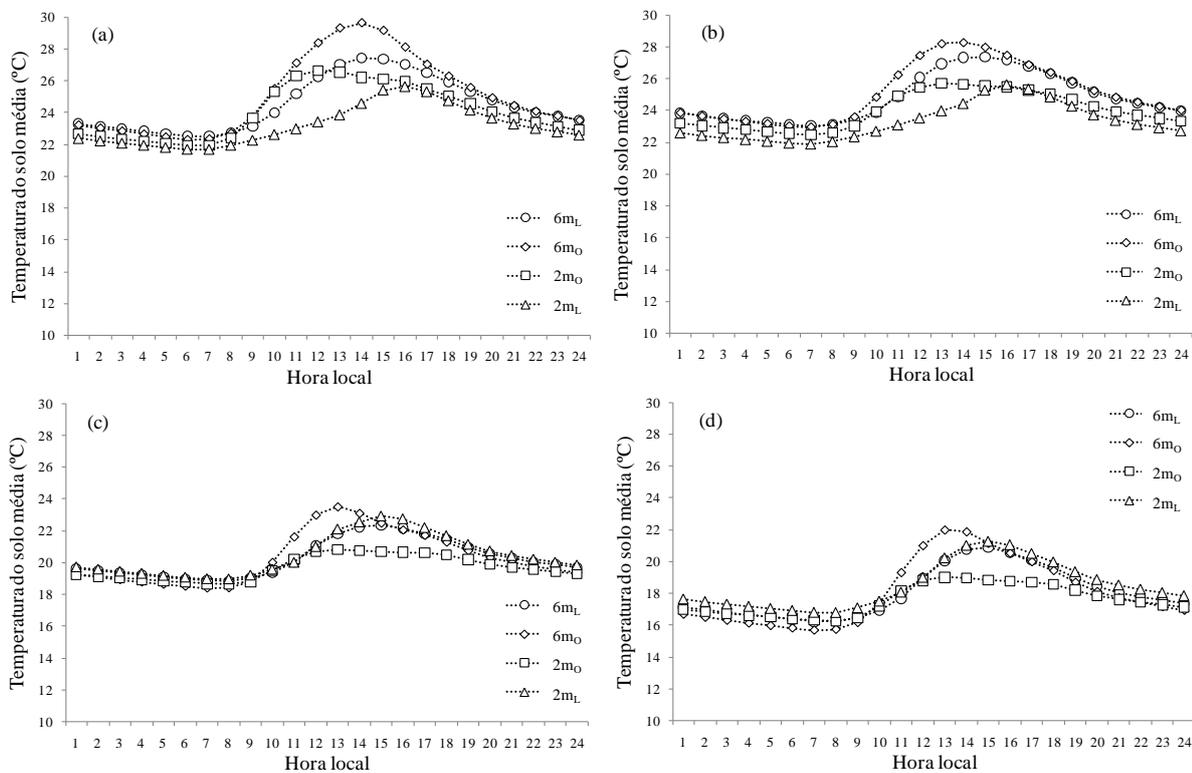


Figura 2.14 - Variação horária da temperatura do solo, em cada ponto avaliado: a 6 metros do renque leste ( $6m_{\text{L}}$ ); a 6 metros do renque oeste ( $6m_{\text{O}}$ ); a 2 metros do renque oeste ( $2m_{\text{O}}$ ); e a 2 metros do renque leste ( $2m_{\text{L}}$ ), por estação do ano (a - primavera, b - verão, c - outono e d - inverno), em um sistema silvipastoril, em São Carlos, SP

## 2.4 Conclusões

A radiação solar global (RS) foi a variável mais alterada no interior do SSP, devido à presença das árvores. No outono e no inverno, a posição do sol, devido à declinação solar,

associada à orientação dos renques do experimento, aumentou o sombreamento nas posições próximas ao renque oeste.

A temperatura do ar foi influenciada pelo SSP, principalmente quanto aos valores máximos, sendo que a orientação das linhas de árvores no sistema, por influenciar a variação horária e sazonal da incidência de radiação solar, e a influência vertical da copa das árvores são os principais fatores que definem em que posição do sistema ocorrerá a maior  $T_{max}$ .

Quanto à umidade relativa do ar, pode-se concluir que, além da distância em relação às árvores e do nível de sombreamento, a orientação dos renques também influenciou a dinâmica da UR, já que esta determina a quantidade de radiação solar direta recebida em cada posição, afetando a temperatura do ar e, conseqüentemente, a pressão de saturação de vapor, variável que condiciona a UR.

O fluxo de calor no solo (FS) foi altamente influenciado pela presença das árvores, principalmente, devido ao sombreamento, mas, também pela redução da velocidade do vento e conseqüente redução da perda de calor latente para a atmosfera no processo de evapotranspiração. Além disso, a orientação dos renques, a época do ano (declinação solar) e a retenção de radiação pela copa das árvores também influenciaram o FS.

A temperatura do solo dentro do SSP foi influenciada pelo nível de sombreamento, pela posição do sol em relação à orientação do renque de árvores e pela influência das copas das árvores alterando o balanço de radiação.

A velocidade do vento média ( $V_{med}$ ) e as rajadas foram menores dentro do SSP, nas épocas de alta  $V_{med}$ , demonstrando a importância do arranjo de plantas em renques, atuando como quebra-ventos.

## Referências

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 300p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

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

BALISCEI, M.A.; BARBOSA, O.R.; SOUZA, W.; COSTA, M.A.T.; KRUTZMANN, A.; QUEIROZ, E.O. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. **Acta Scientiarum: Animal Sciences**, Maringá, v. 35, n. 1, p. 49-56, 2013.

- BARRADAS, V.L.; FANJUL, L. Microclimatic characterization of shaded and open-grow coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.38, p. 101-112, 1986.
- BENAVIDES, R.; DOUGLAS, G.B.; OSORO, K. Silvopastoralism in New Zealand: review of effects of evergreen and deciduous trees on pasture dynamics. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 76, p. 327–350, 2009.
- BLACKSHAW, J.; BLACKSHAW, A. Heat stress in cattle and the effect of shade on production and behaviour: a review. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, Victoria, v. 34, p. 285–295, 1994.
- FELDHAKE, C.M. Microclimate of a natural pasture under planted *Robinia pseudoacacia* in central Appalachia, West Virginia. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 53, p. 297-303, 2001.
- \_\_\_\_\_. Forage frost protection potential of conifer silvopastures. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 112, p. 123–130, 2002
- \_\_\_\_\_. Forage evapotranspiration and photosynthetically active radiation interception in proximity to deciduous trees. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 1170-1174, 2009.
- GARCIA, R.; ANDRADE, C.M.S. Sistemas silvipastoris na região sudeste. In: SISTEMAS AGROFLORESTAIS PECUÁRIOS: OPÇÕES DE SUSTENTABILIDADE PARA ÁREAS TROPICAIS E SUBTROPICAIS, 2001, Juiz de Fora. **Anais...** Brasília: FAO, 2001. p. 173-187.
- HARVEY, C.; HABER, W. Remnant trees and the conservation of biodiversity in Costa Rican pastures. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 44, p. 37-68, 1998.
- KADZERE, C.T.; MURPHY, M.R.; SILANIKOVE, N.; MALTZ, E. Heat stress in lactating dairy cows: a review. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 77, p. 59-91, 2002.
- KARKY, U.; GOODMAN, M.S. Microclimatic differences between young longleaf-pine silvopasture and open-pasture. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 87, p. 303-310, 2013.
- LIN, B.B. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 144, p. 85–94, 2007.
- LIN, C.H.; MCGRAW, R.L.; GEORGE, M.F.; GARRETT, H.E. Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v.44, p.109-119, 1999.
- LOTT, J.E.; ONG, C.K.; BLACK, C.R. Understorey microclimate and crop performance in a *Grevillea robusta*-based agroforestry system in semi-arid Kenya. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 149, p. 1140-1151, 2009.

- MARIN, A.M.P.; MENEZES, R.S.C.; SILVA, E.D.; SAMPAIO, E.V.S.B. Efeito da *Gliricidia sepium* sobre nutrientes do solo, microclima e produtividade do milho em sistema agroflorestal no agreste paraibano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 555-564, 2006.
- MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H.; ELLIOTT, E.T. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 56, p. 27-38, 2002.
- MIJAIL, A.; SOTELO, M.; RAMÍREZ, F.; RAMÍREZ, I.; LÓPEZ, A; SIRIA, I. Conservación de la biodiversidad en sistemas silvopastoriles de matiguás y río blanco, dpto. de matagalpa, Nicaragua. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE PRODUCCIÓN ANIMAL TROPICAL, 1., 2005. Havana. **Anais...** Havana: ACPA/ICA/CIMA/IIPF, 2005. 1 CD-ROM.
- NAIR, P.K.R.; KUMAR, B.M.; NAIR, V.D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, New Jersey, v. 172, n. 1, p. 10-23, 2009.
- NICODEMO, M.L.F.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; S. 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. (Documentos ,146)
- PEZZOPANE, J.R.M.; PEDRO JUNIOR, M.J.; GALLO, P.B. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.11, n.3, p.256–264, 2007.
- PEZZOPANE, J.R.M.; SOUZA, P.S.; ROLIM, G.S.; GALLO, P.B. Microclimate in coffee plantation grown under grevillea trees shading. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 201-206, 2011.
- PORFÍRIO-DA-SILVA, V. **Modificações microclimáticas em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta* A. Cunn. Ex. R. Br. na região Noroeste do Paraná**. 1998, 128p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: guide of personal computers; version 9.2. Cary, 2009. v. 1.
- SHARROW, S.H. Silvopastoralism: competition and facilitation between trees, livestock, and improved grass-clover pastures on temperate rainfed lands. In: BUCK, L.; LASSOIE, J.P.; ERICK FERNANDES, C.M. (Ed.), **Agroforestry in Sustainable Agricultural Systems**. Boca Raton: CRC Press LLC, 1999. p. 111-130.
- SOUZA, W.; BARBOSA, O.R.; MARQUES, J.A.; COSTA, M.A.T.; GASPARINO, E.; LIMBERGER, E. Microclimate in silvipastoral systems with eucalyptus in rank with different heights. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 3, p. 685-694, 2010.
- STEINFELD, H.; GERBER, P.; WASSENAAR, T.; CASTEL, V.; ROSALES, M.; DE HAAN, C. **Livestock's Long Shadow**: environmental issues and options. Rome: FAO, 2006. 26p.



### 3 PRODUTIVIDADE E CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS DE *BRACHIARIA DECUMBENS* EM SISTEMA SILVIPASTORIL

#### Resumo

Os sistemas silvipastoris (SSPs) são uma modalidade dos sistemas agroflorestais que congrega animais, plantas forrageiras e árvores na mesma área. A presença de árvores no ambiente exerce influência sobre a luminosidade, a temperatura e a umidade do solo, modificando a produção e a qualidade da forragem. Nos SSPs, a disponibilidade de energia radiante sob as copas destaca-se como fator determinante da produção das forrageiras, devido ao sombreamento exercido pelas árvores. Com isso, torna-se necessário pesquisar espécies que se adaptem a diferentes intensidades de luz. Nesse aspecto, a *Brachiaria decumbens* apresenta plasticidade fenotípica, em resposta às variações sazonais das condições climáticas e de sombreamento, o que confere a essa espécie elevado potencial para uso em SSPs. Nesse contexto, esse estudo teve por objetivo avaliar a produtividade e as modificações em algumas características biométricas da espécie forrageira *B. decumbens* dentro de um sistema silvipastoril sob pastejo. O experimento foi realizado em área experimental de SSP, implantado em dezembro de 2007, pertencente à Embrapa Pecuária Sudeste, no município de São Carlos, SP. A área foi composta por pastagem da espécie *B. decumbens* arborizada por árvores nativas dispostas linearmente. Nessa área foram mantidos bovinos, sob pastejo rotacionado, sendo que o período de ocupação em cada piquete foi de sete dias e o período de descanso de 35 dias, com uma altura de resíduo para retirada dos animais próxima a 0,20 m. Foram avaliados sete ciclos de rebrota, nas quatro distâncias de avaliação: a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>); a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>); a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>); e a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>), havendo quatro repetições. Em cada coleta de forragem, foram retiradas duas amostras por ponto avaliado em uma área de 0,25 m<sup>2</sup>, utilizadas para a determinação da produção de matéria seca (MS), índice de área foliar (IAF) e área foliar específica (AFE). Foi avaliada a altura de plantas dentro da área útil de cada amostra. Os resultados demonstram que o sombreamento, promovido pelas árvores, influenciou a produtividade e as características biométricas da pastagem de *B. decumbens*, sendo que, nos três primeiros ciclos, em níveis acima de 50 % de sombra, houve redução da produtividade de forragem e do IAF, caracterizando limitação pelo déficit de luminosidade. Já a altura de plantas e a AFE aumentaram sob esses níveis de sombreamento, como estratégia de aumento da captação de energia radiante. Entretanto, nas épocas em que houve déficit hídrico e/ou térmico não houve diferença entre as posições avaliadas, para todas as variáveis, demonstrando que o sombreamento perde sua influência sobre a pastagem quando ocorrem outros fatores ambientais limitantes.

Palavras-chave: Sistema silvipastoril; *Brachiaria decumbens*; Sombreamento; Déficit hídrico e térmico; Pastejo

#### Abstract

The silvopastoral systems (SSPs) are agroforestry systems that bring together animals, pasture and trees in the same area. The presence of trees in the environment influences the solar energy available, temperature and soil moisture, modifying the pasture production and quality. Inside the SSPs the availability of solar energy under the tree canopies stands out as a determinant factor of pasture production. Thus, it becomes necessary to investigate species that adapt better to different light intensities. In this aspect, the *Brachiaria decumbens* shows phenotypic plasticity in response to seasonal variations of climatic conditions and shading, which gives this species a high potential for use in SSPs. In this context, this study aimed to

evaluate the yield and biometric characteristics of the pasture species *B. decumbens* in a silvopastoral system under grazing. The experiment was conducted in an experimental area of SSP, deployed in December 2007, in São Carlos, SP, Brazil. The area consisted of pasture species *B. decumbens* shaded by native trees arranged linearly. This area was kept with cattle under rotational grazing, and the grazing periods on each paddock was of seven days. After grazing, the area had a rest period of 35 days, with a height of the residue considered to remove the animals close to 0.20 m. Seven cycles of regrowth were evaluated, considering four positions: at 6 m from the trees at east (6m<sub>L</sub>); at 6 m from the trees at west (6m<sub>O</sub>); and at 2 m from the trees at west (2m<sub>O</sub>), with four replications. At each pasture harvest, two samples were evaluated by point in an area of 0.25 m<sup>2</sup>. These samples were used to determine dry mass (MS), leaf area index (IAF) and specific leaf area (AFE). The heights of the plants were also evaluated within the area of each sample. The results showed that the shading, caused by the trees, influenced yield and biometric characteristics of pasture *B. decumbens*, with the first three cycles, when more than 50% shading occurred, having reduction of yield and leaf area index, as a consequence of lack of light. On the other hand, plants height and AFE increased under these levels of shading, as a plant strategy to increase the interception of solar energy. However, when water and/or thermal stresses occurred no difference between the positions for all variables was observed. It demonstrates that the shading loses its influence over the pasture growth when there are other environmental limiting factors.

Keywords: Silvopastoral system; *Brachiaria decumbens*; Shading; Water and thermal deficit; Grazing

### 3.1 Introdução

Os sistemas silvipastoris (SSPs) são sistemas de produção que congregam animais, plantas forrageiras e árvores na mesma área, buscando gerar produção e sustentabilidade por meio de suas interações (GARCIA; COUTO, 1997). A utilização de SSPs tem sido sugerida para garantir maior sustentabilidade em sistemas de produção animal, devido ao seu potencial em incrementar a fertilidade do solo, melhorar a qualidade da forragem, promover o conforto animal e proporcionar maior diversificação de renda aos produtores (CARVALHO et al., 2007).

No que se refere aos fatores que influenciam a produção de biomassa de espécies forrageiras, destacam-se a radiação solar, a temperatura do ar, o fotoperíodo e a umidade do solo (PEDREIRA et al., 2009). Nos sistemas silvipastoris, a disponibilidade de energia radiante sob as copas assume papel ainda mais preponderante para a produção das forrageiras, devido ao sombreamento exercido pelas árvores.

A tolerância da pastagem ao sombreamento depende da sua habilidade em se adaptar, morfológica ou fisiologicamente, a um nível específico de luminosidade (DIAS-FILHO, 2000). Em SSPs com disposição das árvores na forma linear ou em renques, supõe-se que a influência das árvores sobre a pastagem seja maior em áreas mais próximas aos troncos,

porém, os efeitos do sombreamento podem alcançar áreas localizadas além da projeção das copas (DIAS et al., 2007). Vários trabalhos têm sido realizados nos últimos anos com o objetivo de identificar e explicar os efeitos da presença de árvores sobre o pasto, em SSPs.

Castro et al. (2009), em Coronel Pacheco, MG, avaliaram as características agronômicas, a massa de forragem e o valor nutritivo de *B. decumbens* em SSP e constataram que sombreamentos na ordem de 29 e 45 % aumentaram a massa de forragem e a altura de plantas em relação às condições de pleno sol. Além disso, a quantidade de proteína bruta por hectare, na primavera e no verão, foi maior sob sombreamento.

Gobbi et al. (2009), em casa de vegetação, observaram que para a *B. decumbens* sob sombreamento artificial (0, 50 e 70 %) houve um aumento da altura do dossel, do comprimento de colmos e folhas e da área foliar específica nos maiores sombreamentos.

Araújo et al. (2011) realizaram um experimento em Governador Valadares, MG, em um SSP com a forrageira *Brachiaria brizantha* cv. Marandú sombreada por coqueiro Anão (*Cocos nucifera* var. Ana) e observaram que a pastagem irrigada atingiu boa cobertura do solo e altura de plantas, confirmando o seu potencial para uso em sistemas consorciados.

Paciullo et al. (2011), em Coronel Pacheco, MG, estudando a *B. decumbens* em um sistema agrossilvipastoril, arborizado por renques, principalmente compostos por *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium*, dispostos no sentido norte-sul, constataram que a produtividade de forragem aumentou conforme diminuiu o sombreamento, até à distância de 9 m em relação às árvores, porém, nas distâncias de 12 e 15 m houve redução do rendimento, demonstrando que em níveis moderados de sombra a *B. decumbens* pode produzir mais do que em ambientes a pleno sol, onde os estresses ambientais, como o déficit hídrico, são maiores.

Pandey et al. (2011), na ilha de Andaman Sul, Índia, em um sistema silvipastoril com *Brachiaria mutica* sombreada por coqueiros, sob um clima tropical equatorial úmido, verificaram que a produtividade de forragem, foi 18 % menor na posição entre as copas (32 % de sombreamento) e 49 % menor na posição embaixo das copas das árvores (59 % de sombreamento) do que a pleno sol.

Carrilho et al. (2012), em Montes Claros, MG, ao avaliarem uma pastagem de *B. decumbens* sob três níveis de sombreamento (0, 30 e 50 %) concluíram que a produção de biomassa e o número de plantas por hectare foram semelhantes em todos os tratamentos, porém, nos locais sombreados as plantas obtiveram menor porcentagem de matéria seca em relação ao pleno sol e que no nível de 50 % de sombreamento houve aumento na área foliar específica das plantas.

Gómez et al. (2013), na Venezuela, estudando *B. decumbens* sob três níveis de fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) (100 %, 50 % e 30 %), constataram que a produtividade final da pastagem foi reduzida em 34 % para o FFF de 50 %, e em 57 % para o FFF de 30 %, em comparação com o nível máximo de FFF. Além disso, o sombreamento aumentou a área foliar específica entre 25 e 46 %. Com isso, concluiu-se que a *B. decumbens* possui alta plasticidade ao sombreamento, o que explica o sucesso da sua utilização em SSPs.

Considerando-se que a presença das árvores no sistema silvipastoril modifica o crescimento, a produtividade e as características biométricas de plantas forrageiras, este estudo teve por objetivo avaliar a produtividade e as modificações em algumas características biométricas da espécie forrageira *B. decumbens* dentro de um sistema silvipastoril sob pastejo.

## **3.2 Material e métodos**

### **3.2.1 Caracterização do experimento**

O experimento foi realizado em área experimental de sistema silvipastoril, implantado em dezembro de 2007, pertencente à Embrapa Pecuária Sudeste, no município de São Carlos, SP (Latitude = 21°57'42" S, Longitude = 47°50'28" W, e Altitude = 860 m), sob um clima Cwa na classificação de Köppen (tropical de altitude), caracterizado por verão quente e úmido e inverno seco. A área foi composta por pastagem da espécie *B. decumbens* arborizada pelas espécies arbóreas nativas: angico-branco (*Anadenanthera colubrina*), canafístula (*Peltophorum dubium*), ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*), jequitibá-branco (*Cariniana estrellensis*) e pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha*), nas linhas centrais, sendo estas cinco as espécies de interesse econômico; e para tutoramento destas espécies foram plantadas duas linhas marginais de mutambo (*Guazuma ulmifolia*) e de capixingui (*Croton floribundum*) mesclados. Demais detalhes do experimento são apresentados no Capítulo 2, item 2.2.1.

Nesta área foram mantidos bovinos da raça Canchim, sob pastejo rotacionado, sendo que o período de ocupação em cada piquete foi de sete dias e o período de descanso de 35 dias. A taxa de lotação dos piquetes foi variável, sendo ajustada conforme a oferta de forragem, sempre priorizando uma altura de resíduo próxima a 0,20 m para a saída dos animais.

### 3.2.2 Coleta de dados

Foram avaliados sete ciclos de rebrota, nas quatro distâncias de avaliação: a 2 metros do renque leste ( $2m_L$ ), a 6 metros do renque leste ( $6m_L$ ), a 6 metros do renque oeste ( $6m_O$ ) e a 2 metros do renque oeste ( $2m_O$ ) (Figura 2.1), havendo quatro repetições. Nesta dinâmica, o processo de monitoramento, em cada ciclo, foi dividido em cinco etapas, iniciando-se logo após a saída dos animais da área, sendo que a primeira coleta caracterizou a situação da planta pós-pastejo, a segunda efetuou-se duas semanas após, deixando-se um intervalo de tempo para a retomada do crescimento inicial, e a terceira, quarta e quinta coletas foram nas semanas subsequentes, com a última caracterizando a coleta pré-pastejo, pois logo em seguida os animais passaram a ocupar o piquete. Desse modo, os ciclos de rebrota atenderam os 35 dias de descanso, como definido anteriormente.

Os ciclos ocorreram nas seguintes datas: ciclo 1 - de 23/11 a 27/12/2012; ciclo 2 - de 03/01 a 07/02/2013; ciclo 3 - de 14/02 a 20/03/2013; ciclo 4 - de 28/03 a 02/05/2013; ciclo 5 - de 09/05 a 13/06/2013; ciclo 6 - de 11/07 a 14/08/2013; e ciclo 7 - de 22/08 a 25/09/2013.

Em cada coleta de forragem, foram retiradas duas amostras por ponto avaliado em uma área de  $0,25 \text{ m}^2$ , totalizando 32 amostras para a quantificação da produção de matéria verde (MV) e matéria seca (MS). Posteriormente, duas amostras correspondentes a cada ponto foram misturadas, retirando-se duas sub-amostras, sendo uma para a separação morfológica, ou seja, determinação da proporção folha/colmo/material morto e mensuração da área foliar por meio de um integrador de área foliar (LI-3100C da Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA), a fim de calcular o índice de área foliar e a área foliar específica (razão entre área foliar e massa seca de folha); e outra para determinação da MS total. Para a determinação da MS total, o material foi seco em estufa, com circulação de ar forçada, a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Além disso, foram coletados dados de altura de plantas em três pontos dentro da área útil de cada amostra. A altura de resíduo para o corte foi de 0,10 m, em relação à superfície do solo, ou seja, abaixo da altura de forragem definida para o momento da saída dos animais, que foi de 0,20 m.

Devido à desuniformidade que ocorre em condições de pastejo e ao fato de que a altura de resíduo para a coleta de forragem foi abaixo da altura definida para a saída dos animais, foi necessário se efetuar uma correção da produtividade de MS ( $MS_{\text{corr}}$ ) pelo desaparecimento de material morto (MM). Assim, como a coleta pós-pastejo foi tomada como referência inicial para o acúmulo de forragem posterior, a diferença de massa seca de MM dessa coleta para as demais coletas foi subtraída da produtividade de MS total do ciclo, como está expresso na equação 3.1, considerando-se essa massa como perdida para o solo.

$$MS_{\text{corr}} = [MS - (MM_{\text{pós-pastejo}} - MM_{\text{atual}})] \quad (3.1)$$

Para efeito de comparação com as características biométricas da pastagem foram determinados os níveis de sombreamento em porcentagem, em cada posição avaliada e em cada ciclo de crescimento, por meio da equação 3.2:

$$NS = [1 - (RS_{\text{int}} / RS_{\text{ext}})] \times 100 \quad (3.2)$$

em que: NS é o nível de sombreamento, em %;  $RS_{\text{int}}$  é a radiação solar global medida dentro do SSP, em  $\text{MJ m}^{-2}$ ; e  $RS_{\text{ext}}$  é a radiação solar global medida fora do SSP, em  $\text{MJ m}^{-2}$ , ambas considerando o total do ciclo de crescimento.

Para explicar as variações na produtividade e nas características biométricas em cada posição foram utilizados os dados microclimáticos: radiação solar global incidente, temperatura média do ar e o balanço hídrico sequencial calculado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), com a evapotranspiração estimada pelo método de Penman-Monteith, descrito por Allen et al. (1998), para um local externo ao experimento, e considerando uma capacidade de água disponível (CAD) de 60 mm.

### 3.2.3 Análise dos dados

Para as análises estatísticas dos dados referentes aos dados biométricos e de produtividade da forrageira *B. decumbens* foi utilizado o procedimento GLM do SAS (SAS INSTITUTE, 2009), utilizando-se o esquema de parcelas subdivididas, em que a parcela foi o ciclo de rebrota (considerando a produtividade final do ciclo) e a subparcela a distância em relação às árvores no sistema silvipastoril, com quatro repetições. Os efeitos fixos significativos foram comparados pelo teste Tukey a 5% de significância.

## 3.3 Resultados e discussão

### 3.3.1 Produtividade da forragem

A produtividade da forragem diferiu entre as distâncias apenas nos dois primeiros ciclos, sendo que no ciclo 1 a posição 6m<sub>L</sub>, com aproximadamente 25 % de sombreamento em

tudo o período experimental (Tabela 3.1), foi mais produtiva que a 2m<sub>L</sub> (65 % de sombra nas três primeiras épocas), chegando a 1.745 kg de MS ha<sup>-1</sup>, porém, não diferindo das demais (Figura 3.1). Já no ciclo 2, a posição 6m<sub>L</sub> apresentou produtividade maior do que as demais posições, atingindo 1.500 kg de MS ha<sup>-1</sup>, aproximadamente 740 kg de MS ha<sup>-1</sup> a mais do que na posição 2m<sub>O</sub>. A menor produtividade obtida foi na posição 2m<sub>L</sub>. Entretanto, destaca-se, neste ciclo, que houve subpastejo na posição 2m<sub>L</sub>, devido à carga animal insuficiente, prejudicando o cálculo da sua produtividade. No ciclo 3 não houve diferença estatística entre as posições por consequência da alta variabilidade dos dados provocada pelo pastejo irregular. No entanto, houve nesse ciclo a mesma tendência de redução da produtividade conforme se aproximava das árvores. Nessas épocas, o crescimento e o desenvolvimento das plantas foram determinados pela radiação solar, pois as condições hídricas e de temperatura do ar foram adequadas (Figura 3.2).

A partir do 4º ciclo, as produtividades não foram diferentes entre as posições, não passando dos 670 kg de MS ha<sup>-1</sup>, sendo que o déficit de radiação solar perdeu importância devido à limitação do crescimento das plantas pela deficiência hídrica e, em segundo plano, pela redução das temperaturas (Figura 3.2), ambas ocorrendo em intensidades parecidas para as quatro distâncias avaliadas.

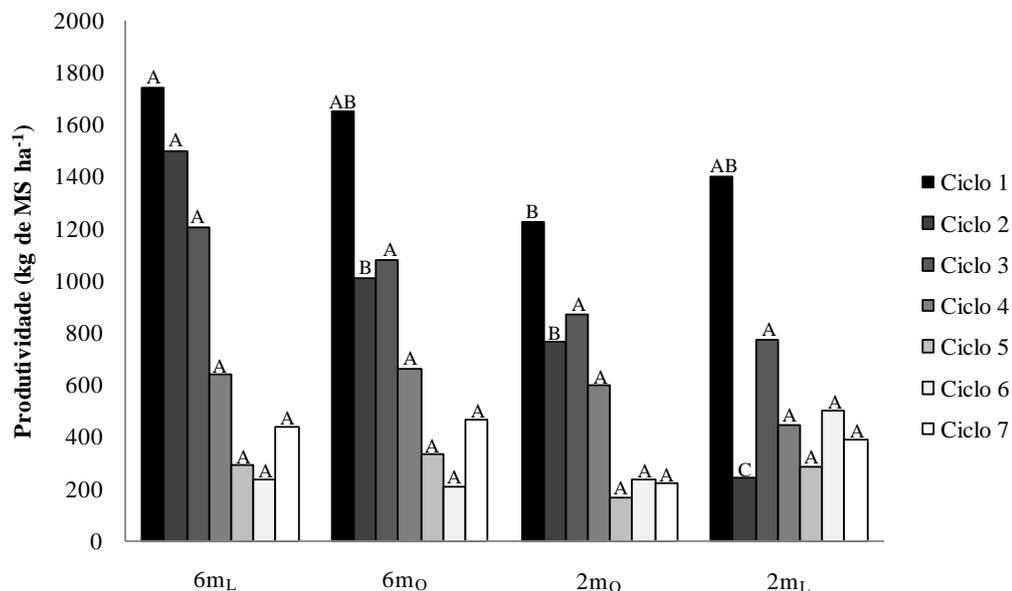


Figura 3.1 - Produtividade de forragem de *B. decumbens*, por ciclo de crescimento (duração de 35 dias), nas posições a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>), a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), em sistema silvipastoril, em São Carlos, SP. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, na comparação entre as posições, dentro do mesmo ciclo

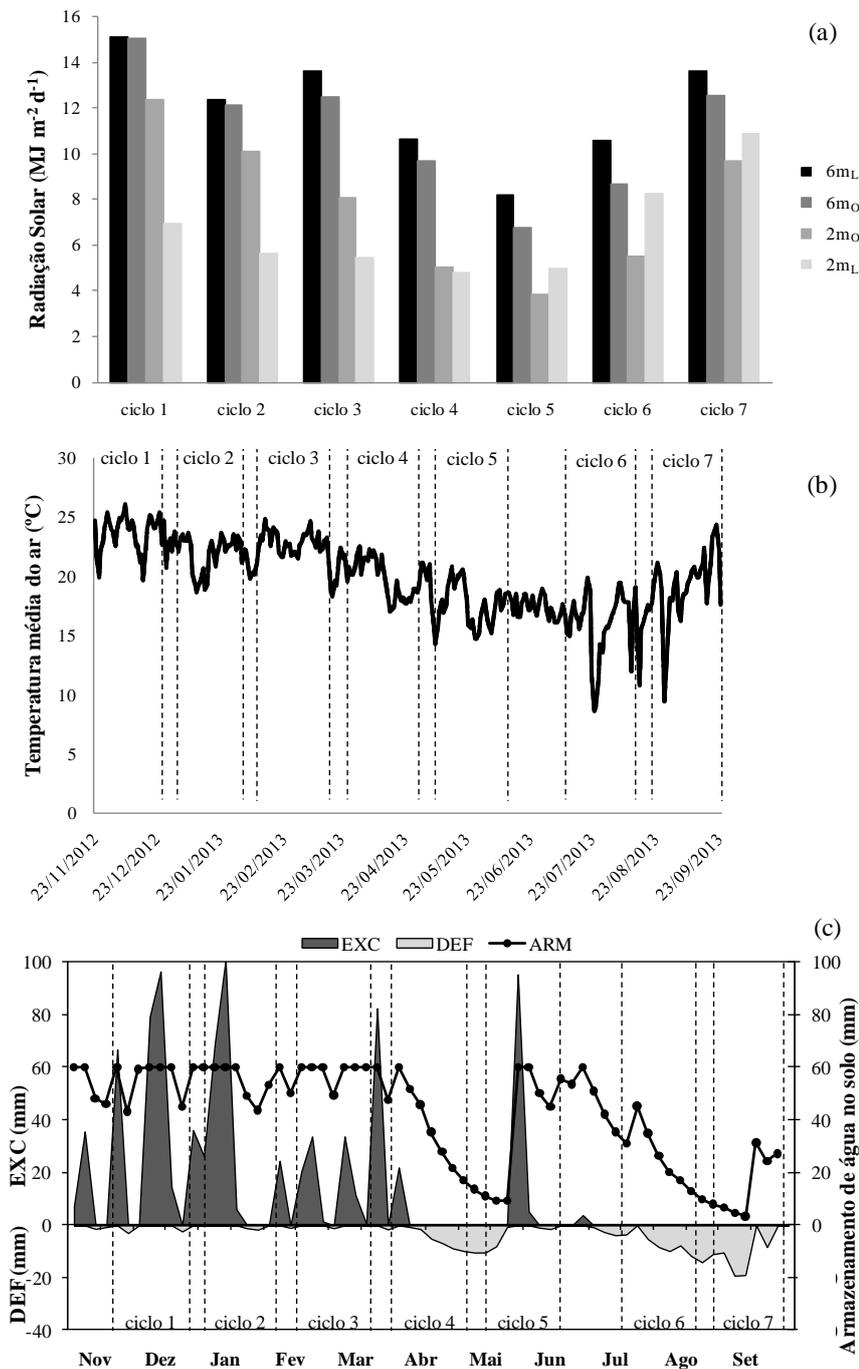


Figura 3.2 - Caracterização da dinâmica dos fatores ambientais durante o período experimental, nas posições a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>), a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), em sistema silvipastoril em São Carlos, SP - (a) Radiação solar global média; (b) temperatura média do ar; (c) armazenamento de água no solo (ARM), deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC)

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Paciullo et al. (2008), que cultivando *B. decumbens*, encontrou taxas de produção de matéria seca total iguais à condição de pleno sol, tanto para 50% como para 18% de sombreamento e, no inverno, redução das

taxas de produção de forragem, assim como nos valores das variáveis morfológicas e estruturais do dossel, independentemente do sombreamento.

Tabela 3.1 - Níveis de sombreamento exercidos pelas árvores nas posições a 6 metros do renque leste ( $6m_L$ ), a 6 metros do renque oeste ( $6m_O$ ), a 2 metros do renque oeste ( $2m_O$ ) e a 2 metros do renque leste ( $2m_L$ ), em cada ciclo de crescimento da pastagem *B. decumbens* em sistema silvipastoril, em São Carlos, SP

Época	Posição			
	$6m_L$	$6m_O$	$2m_O$	$2m_L$
Nível de sombreamento (%)				
Ciclo 1	25	25	39	66
Ciclo 2	27	28	40	67
Ciclo 3	22	28	53	69
Ciclo 4	26	33	65	66
Ciclo 5	23	36	64	53
Ciclo 6	27	40	62	43
Ciclo 7	22	28	44	37

### 3.3.2 Índice de área foliar

O índice de área foliar (IAF), nos três primeiros ciclos, foi controlado pela incidência de radiação solar. No ciclo 1, apesar de não haver diferença estatística, houve uma tendência de redução do IAF conforme se reduziu o sombreamento (Figura 3.3), exceto para a posição  $2m_L$  que apresentou IAF de 2,7, apenas 0,1 a menos que a posição menos sombreada ( $6m_L$ ). Isso pode ser consequência do aumento da área foliar específica e da altura das plantas em maiores sombreamentos (mais que 50 %).

No ciclo 2 a posição  $6m_L$  apresentou maior IAF do que as posições a 2 m (1,2 a mais do que  $2m_L$ ), chegando a atingir 3,4. No entanto, o IAF da posição  $6m_O$  não diferiu estatisticamente dos valores obtidos nas demais posições, apesar de se manter maior do que nas posições a 2 m e menor do que na de  $6m_L$ . Já, no ciclo 3, as posições que distavam 6 m do renque de árvores diferiram da  $2m_L$ , sendo essa diferença de 1,6 entre  $6m_L$  e  $2m_L$ , enquanto que o IAF da posição  $2m_O$  não diferiu dos valores obtidos nas posições  $6m_O$  e  $2m_L$ . Esses resultados mostram a mesma tendência do 1º ciclo, mas, desta vez, o aumento do sombreamento reduziu o IAF também para  $2m_L$ .

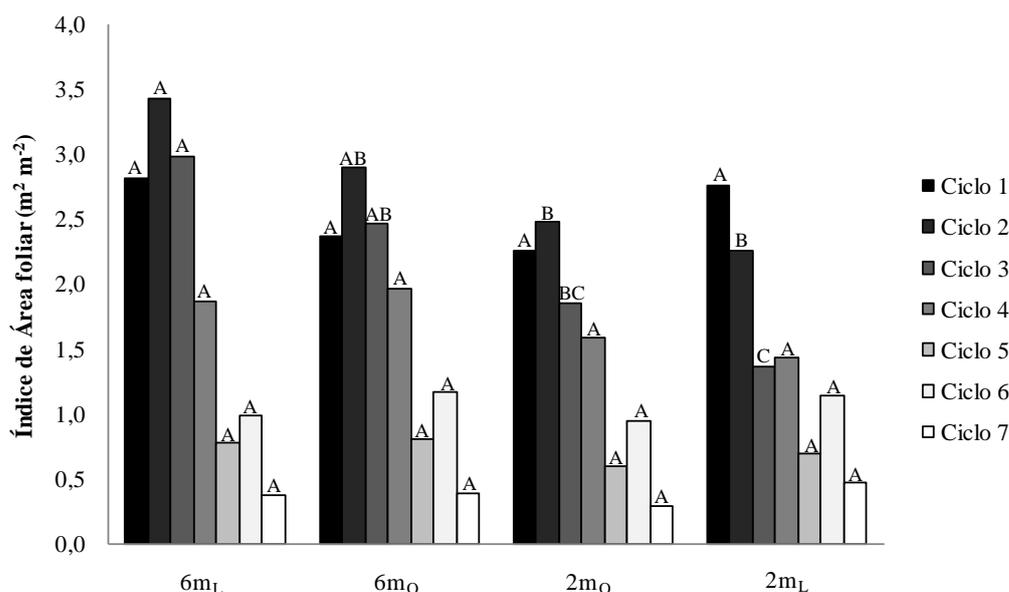


Figura 3.3 - Índice de área foliar de *B. decumbens*, por ciclo de crescimento (duração de 35 dias), nas posições a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>), a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), em sistema silvipastoril em São Carlos, SP. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, na comparação entre as posições, dentro do mesmo ciclo

Paciullo et al. (2007), cultivando *B. decumbens* a pleno sol e sob sombreamento de 35 e 60 %, também observaram que o sombreamento mais intenso (60 %) reduziu os valores de massa de forragem e índice de área foliar, enquanto que o sombreamento moderado (35 %) não modificou essas variáveis, em relação ao cultivo a sol pleno.

A partir do ciclo 4, não houve diferença do IAF entre as distâncias, a exemplo da produtividade, pois a deficiência hídrica e o baixo acúmulo térmico (Figura 3.2) condicionaram a redução do IAF, que não ultrapassou os 2,0 (Figura 3.3).

### 3.3.3 Altura de plantas

A altura de plantas, nos quatro primeiros ciclos, também foi influenciada pelo sombreamento. Nos ciclo 1 e 2, a posição 2m<sub>L</sub> foi a que apresentou as maiores alturas, com as diferenças chegando a 0,12 m e 0,09 m em relação à posição 6m<sub>O</sub>, para esses ciclos, respectivamente (Figura 3.4). Isso se deve ao alto nível de sombreamento no 2m<sub>L</sub> (65 %) que provocou o estiolamento das plantas, como forma de aumentar a captação de energia radiante. Já nos ciclos 3 e 4, quando a declinação solar diminuiu a incidência de luminosidade na posição 2m<sub>O</sub>, as plantas das duas posições a 2 m das árvores, atingiram maior altura que as das posições a 6 m, chegando as diferenças entre as posições 2m<sub>L</sub> e 6m<sub>O</sub> a 0,07 m, e entre

2m<sub>O</sub> e 6m<sub>O</sub> a 0,05 m, ambas no ciclo 3. Ainda nesse ciclo, constatou-se que o sombreamento foi de 21 % para 6m<sub>L</sub>, 28 % para 6m<sub>O</sub>, 53 % para 2m<sub>O</sub> e 68 % para 2m<sub>L</sub>. Com isso, pode-se afirmar que sombreamentos acima de 50 % provocam o aumento da altura de plantas de *Brachiaria decumbens*.

Esses dados estão de acordo com os encontrados por Martuscello et al. (2009), que, sob alto nível de sombreamento, constataram que as plantas dos capins braquiária, marandú e xaraés tenderam a alongar seus colmos e folhas como forma de aumentar suas exposições à radiação solar, o mesmo sendo observado por Paciullo et al. (2008), que também encontraram essa relação para *B. decumbens*.

A partir do ciclo 5, não houve mais influência do sombreamento na altura das plantas já que a deficiência hídrica e as baixas temperaturas passaram a limitar o crescimento da pastagem.

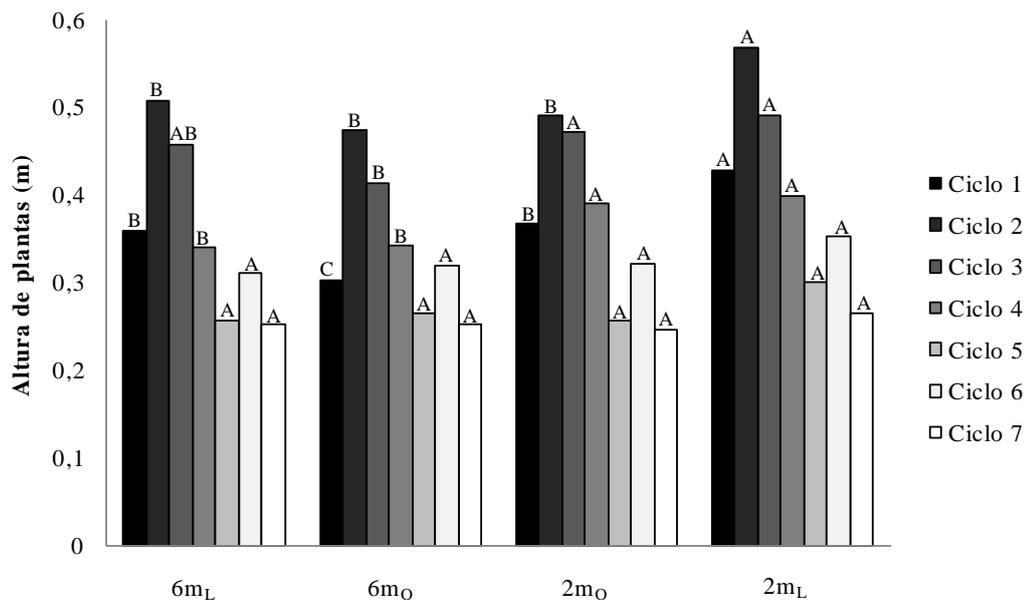


Figura 3.4. - Altura de plantas de *B. decumbens*, por ciclo de crescimento (duração de 35 dias), nas posições a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>), a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), em sistema silvipastoril em São Carlos, SP. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, na comparação entre as posições, dentro do mesmo ciclo

### 3.3.4 Área foliar específica

A área foliar específica (AFE) apresentou valores distintos para as diferentes distâncias nos três primeiros ciclos de rebrota. No ciclo 1, a posição 2m<sub>L</sub>, com 65 % de sombreamento, apresentou AFE de 29 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>, diferindo de 6m<sub>O</sub>, que obteve 23 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>,

porém, na comparação com os demais pontos, não apresentou diferença significativa, apesar de possuir valores maiores (Figura 3.5). No ciclo 2, a posição 2m<sub>L</sub> (67 % sombreada) teve AFE significativamente maior que todos os outros pontos, com menos de 40 % de sombreamento, apresentando valores 7,5 m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup> maiores que para a posição 6m<sub>O</sub>. Já, no ciclo 3, a AFE foi maior na posição 2m<sub>L</sub> (68 % de sombreamento) do que nas outras posições, com no máximo de 53 % de sombreamento, porém, sem apresentar diferença significativa na comparação com as posições a 6 m de distância das árvores. Esses resultados demonstram a influência de sombreamentos maiores que 50 % na alteração da dimensão das folhas, como estratégia da planta em absorver maior quantidade de radiação solar pela maior área de contato. Martuscello et al. (2009), também observaram que as plantas dos capins *B. decumbens* e *B. brizantha* alongaram as folhas como forma de aumentar a exposição à luz, em ambientes sombreados.

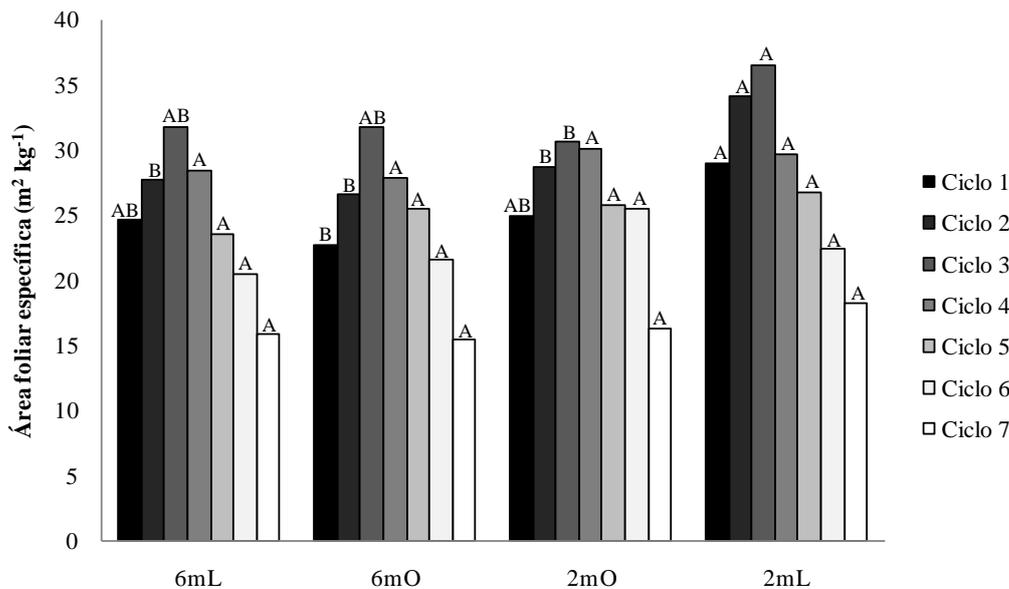


Figura 3.5 - Área foliar específica de *B. decumbens*, por ciclo de crescimento (duração de 35 dias), nas posições a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>), a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), em sistema silvipastoril em São Carlos, SP. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si, na comparação entre as posições, dentro do mesmo ciclo

Do ciclo 4 em diante, não houve diferenças significativas entre as posições do SSP quanto à AFE, o que novamente foi condicionado pela limitação do crescimento das plantas provocada principalmente pela deficiência hídrica, mas também pela redução da temperatura

do ar. Isso confirma a baixa influência do sombreamento sobre a AFE para épocas em que ocorrem outros fatores ambientais limitantes.

### 3.4 Conclusões

O sombreamento, promovido pelas árvores, influenciou a produtividade e as características biométricas da pastagem de *Brachiaria decumbens*, sendo que, nos três primeiros ciclos, com sombreamento superior a 50 %, houve redução da produtividade de forragem e do IAF, devido à limitação de luminosidade. Já a altura de plantas e a AFE aumentaram sob os maiores níveis de sombreamento, demonstrando a estratégia das plantas para aumentar a captação de energia radiante.

Nos ciclos de rebrota da pastagem em que houve déficit hídrico e/ou térmico não foram observadas diferenças significativas entre as diferentes condições de sombreamento no SSP, para todas as variáveis, demonstrando que o sombreamento tem menor influência sobre o desempenho da pastagem quando ocorrem outros fatores ambientais limitantes.

### Referências

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p.( Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARAÚJO, R.A.S.; CUNHA, F.F.; WENDLING, E.J.; SILVA, C.F.; CALAZANI, W.L.; EMERICK, J.A.N. Morfogênese e crescimento do capim-marandu consorciado com coco-anão sob irrigação e intervalos de desfolha. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 6, p. 856-864, 2011.

CARRILHO, P.H.M.; ALONSO, J.; SANTOS, L.D.T.; SAMPAIO, R.A. Vegetative and reproductive behavior of *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk under different shade levels. **Cuban Journal of Agricultural Science**, Havana, v. 46, n. 1, p. 85-90, 2012.

CARVALHO, M.M.; PACIULLO, D.S.C.; CASTRO, C.R.T. de; WENDLING, I.J.; RESENDE, A.S. de; PIRES, M. de F. de A. Experiências com SSP's no bioma Mata Atlântica na Região Sudeste. In: FERNANDES, E.N.; PACIULLO, D.S.; CASTRO, C.R.T. de; MULLER, M.D.; ARCURI, P.B.; CARNEIRO, J. da C. (Ed.). **Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades**. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2007, p. 105-136.

CASTRO, C.R.T.; PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, C.A.M.; MÜLLER, M.D.; NASCIMENTO JUNIOR, E.R. Características agronômicas, massa de forragem e valor nutritivo de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 60, p. 19-25, 2009.

DIAS-FILHO, M.B. Growth and biomass allocation of the C4 grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.2335-2341, 2000.

DIAS, P.F.; SOUTO, S.M.; RESENDE, A.S.; URGUAGA, S.; ROCHA, G.P.; MOREIRA, J.F.; FRANCO, A.A. Transferência do N fixado por leguminosas arbóreas para o capim Survenola crescido em consórcio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.352-356, 2007.

GARCIA, R.; COUTO, L. Sistemas silvipastoris: tecnologia emergente de sustentabilidade. In: SIMPÓSIO ANUAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1., 1997. Viçosa, **Anais...** Viçosa: UFV, 1997. p. 447-471.

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**, Viçosa, v. 38, n. 9, p. 1645-1654, 2009.

GOMÉZ, S.; GUENNI, O.; GUENNI, L.B. Growth, leaf photosynthesis and canopy light use efficiency under differing irradiance and soil N supplies in the forage grass *Brachiaria decumbens* Stapf. **Grass and Forage Science**, Oxford, v. 68, n. 3, p. 395-407, 2013.

MARTUSCELLO, J.A.; JANK, L.; GONTIJO NETO, M.M.; LAURA, V.A; CUNHA, D.N.F.V. Produção de gramíneas do gênero *Brachiaria* sob níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.38, n.7, p.1183-1190, 2009.

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

PACIULLO, D.S.C.; CAMPOS, N.R.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; TAVELA, R.C.; ROSSIELLO, R.O.P. Crescimento de capim-braquiária influenciado pelo grau de sombreamento e pela estação do ano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.43, n.7, p.917-923, 2008.

PACIULLO, D.S.C.; FERNANDES, P.B.; GOMIDE, C.A.M.; CASTRO, C.R.T.; SOUZA SOBRINHO, F.; CARVALHO, C.A.B. The growth dynamics in *Brachiaria* species according to nitrogen dose and shade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 2, p. 270-276, 2011.

PANDEY, C.B.; VERMA, S.K.; DAGAR, J.C.; SRISVASTAVA, R.C. Forage production and nitrogen nutrition in three grasses under coconut tree shades in the humid-tropics. **Agroforestry systems**, Amsterdam, v. 83, p. 1-12, 2011.

PEDREIRA, B.C. **Capim Xaraés sob pastejo**: respostas agronômicas e morfofisiológicas, e adaptação do modelo CROPGRO para a predição de crescimento. 2009. 111p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

SAS INSTITUTE. **SAS/STAT**: guide of personal computers; version 9.2. Cary, 2009. v. 1.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton: Laboratory of Climatology, 1955. 104p.



#### 4 CALIBRAÇÃO E TESTE DE MODELO DE ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE FORRAGEIRAS DO GÊNERO BRACHIARIA, CULTIVADAS A PLENO SOL E EM SISTEMA SILVIPASTORIL

##### Resumo

A parametrização de modelos para a estimativa da produtividade das forrageiras surge como uma alternativa viável para o planejamento da implantação e do manejo de pastagens, tanto em cultivo a pleno sol como em sistemas silvipastoris, e para a avaliação de estratégias de manejo, de modo a minimizar os riscos, especialmente os associados à variabilidade climática. Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo calibrar e testar o Modelo da Zona Agroecológica da FAO (FAO-MZA) para a estimativa da produtividade potencial e atingível das cultivares Marandú, Piatã e Xaraés de *Brachiaria brizantha*, cultivadas a pleno sol e, posteriormente, avaliar a capacidade de tal parametrização para estimar a produtividade de *Brachiaria decumbens* em diferentes pontos de um sistema silvipastoril. Para isso, foram utilizados dados coletados em três experimentos, conduzidos na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP. O primeiro experimento, utilizado para a calibração do modelo, foi conduzido nos anos de 2011 e 2012 com as três cultivares de *B. brizantha*, sob condições irrigadas e de sequeiro. O segundo experimento, utilizado no teste da parametrização para *B. brizantha*, foi conduzido em 2009 e 2010, com as mesmas cultivares apenas sob irrigação. O terceiro experimento foi conduzido em 2012 e 2013, em um sistema silvipastoril composto por árvores nativas e pastagem de *B. decumbens*, sob condições de sequeiro. Os dados de IAF utilizados nas estimativas foram calculados de acordo com o acúmulo de graus-dia ( $\Sigma GD$ ). Os dados estimados de produtividade foram comparados aos observados, para análise da eficácia do modelo. O modelo foi eficiente em estimar a produtividade potencial das três cultivares de *B. brizantha*, porém, no ciclo 7, devido ao florescimento, houve subestimativa. Já a estimativa de produtividade atingível para *B. brizantha* não foi eficiente, pois nos ciclos 4, 5, e 6, os dados de produtividade no experimento irrigado foram menores do que no não-irrigado, situação que não corresponde ao que possa ser captado pelo modelo. As estimativas de IAF, para condições sem restrição hídrica, utilizando-se o acúmulo de GD, foram eficazes tanto para *B. brizantha* como para *B. decumbens*. O modelo foi eficiente em estimar a produtividade atingível de *B. decumbens* em sistema silvipastoril, para as posições que possuíam menor sombreamento. Entretanto, nas posições  $2m_O$  e  $2m_L$ , o modelo não foi eficaz em gerar estimativas satisfatórias, já que não considera o efeito da plasticidade fenotípica dessa espécie sob sombreamento.

Palavras-chave: FAO-MZA; *Brachiaria sp.*; Calibração; Pleno sol; Sombreamento

##### Abstract

The parameterization of models to estimate pasture yield emerges as a viable alternative for planning the deployment and the management of grasslands, both for full sun and in silvopastoral (SSP) systems. These models are also useful for evaluating management strategies in order to minimize risks, especially those associated with climate interannual and seasonal variability. In this context, the present study aimed to calibrate and test the Agroecological Zone model (FAO-MZA) to estimate the potential and attainable yields of the cultivars Marandú, Piatã and Xaraés of *Brachiaria brizantha*, grown in full sun system and later evaluate the ability of such parameterization to estimate the yield of *Brachiaria decumbens* in different positions of a silvopastoral system. Three experiments were carried out in São Carlos, SP, Brazil, for obtaining pasture yield data. The first experiment, conducted

in 2011 and 2012 with three cultivars of *B. brizantha* under irrigated and rainfed conditions, was used for model calibration. The second experiment, conducted in 2009 and 2010 with the same cultivars under irrigation only, was used for model validation for *B. brizantha*. The third experiment, conducted in 2012 and 2013 in a silvopastoral system composed by native trees and pasture *B. decumbens* under rainfed conditions, was used for model test under different environmental conditions. The IAF data used in the estimates were calculated according to the accumulation of degree-days ( $\Sigma$ GD). The model was efficient in estimating the potential yield of three cultivars of *B. brizantha*, however, the cycle 7, due to flowering, had underestimations. The estimates of attainable yield of *B. brizantha* was not efficient, since the yield data of cycles 4, 5, and 6, obtained in the irrigated experiment were lower than in non-irrigated fields. Estimates of IAF for conditions without water restriction, using the accumulation of GD were effective for both *B. brizantha* and *B. decumbens*. The model was efficient for estimating the attainable yield of *B. decumbens* in the SSP for the positions with less shading. However, at the positions 2m<sub>O</sub> and 2m<sub>L</sub> the model was not able for generating satisfactory estimates since it does not consider the effect of phenotypic plasticity of this species when cultivated under shade.

Keywords: FAO-MZA; *Brachiaria* sp.; Calibration; Full sun; Shading

#### 4.1 Introdução

O rendimento de uma cultura depende das condições climáticas, podendo ser estimado por meio de relações que representem a eficiência da cultura em converter a energia solar em matéria seca, sendo que, a obtenção de altas produtividades de forragem depende do índice de área foliar, do fotoperíodo, da temperatura do ar, da radiação solar e da disponibilidade hídrica do solo (CUNHA et al., 2008).

Segundo Nabinger (1997), dentre as ferramentas que podem ser utilizadas para estimar a produção de forragem estão os modelos matemáticos, pois estes utilizam os fatores climáticos para prever a resposta das plantas, permitindo compreender, quantificar e prever as interações entre o ambiente e a pastagem.

Pereira (1984) afirma que os modelos matemáticos são, em sua essência, uma formalização quantitativa do conhecimento que se tem sobre um sistema. Se o modelo não se comporta como o esperado, é necessária uma revisão ou calibração, pois, em muitas das experiências com sistemas complexos, há uma variedade de fenômenos inter-relacionados e, muitas vezes, mal entendidos. Após ser calibrado, o modelo deve ser validado, ou seja, testado com dados independentes e que representem as condições reais do sistema estudado. Segundo Villegas et al. (2004), os modelos de simulação são classificados em empíricos e mecanísticos.

No Brasil, o primeiro modelo agrometeorológico utilizado para pastagens foi o Índice Climático de Crescimento (ICC), desenvolvido por Fitzpatrick e Nix (1973), na Austrália.

Esse modelo congrega informações como a temperatura média do ar, a radiação solar global incidente e o balanço hídrico climatológico, em um único índice. Esse modelo foi utilizado nas regiões Sul (MOTA et al., 1981) e Sudeste (PEDRO JÚNIOR, 1995) do Brasil, com o objetivo de auxiliar no planejamento pecuário e no manejo da pastagem, descrevendo a sazonalidade da produção de forragem.

Posteriormente, Villa Nova et al. (1999) e Villa Nova et al. (2005) propuseram modelos de estimativa do rendimento potencial de *Pennisetum purpureum* cv. Napier e *Brachiaria ruziziensis*, baseados no acúmulo de unidades fototérmicas (UF), um conceito que foi desenvolvido por Villa Nova et al. (1983), que busca conciliar o fotoperíodo acumulado com o acúmulo de graus-dia do ciclo de crescimento. Já Cunha et al. (2008) e Almeida et al. (2011) correlacionaram o acúmulo de UF com a produtividade de *Panicum maximum* cv. Tanzânia, obtendo resultados satisfatórios.

Villa Nova et al. (2004) propuseram um modelo de estimativa da produtividade potencial de *Cynodon nlemfuënsis* cv. Florico em função da radiação solar, enquanto que Detomini et al. (2005) inseriram a oferta de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em um modelo de regressão linear múltipla para a estimativa de produção de *P. maximum*.

Tonato et al. (2010) consideraram variáveis agrometeorológicas (temperatura média, máxima e mínima do ar, e radiação solar global incidente) em regressões lineares múltiplas, a fim de determinar a correlação destes com a taxa média de acúmulo de forragem de cultivares dos gêneros *Cynodon*, *Brachiaria* e *Panicum*. Os resultados demonstraram que as regressões relacionadas à temperatura mínima do ar alcançaram as melhores estimativas da produtividade potencial.

Pezzopane et al. (2012) avaliaram a correlação de diversos fatores agrometeorológicos com a produção de *P. maximum* cv. Tanzânia, chegando aos melhores resultados com as regressões lineares baseadas no efeito térmico e hídrico conjuntamente, como evapotranspiração real, acúmulo de graus-dia corrigido pela disponibilidade hídrica e ICC. Já Araújo et al. (2013) empregaram variáveis como o acúmulo de graus-dia, o acúmulo de UF e o índice climático de crescimento para estimar a produtividade potencial de *P. maximum* cv. Mombaça. Também, Cruz et al. (2011) avaliaram a correlação das variáveis agrometeorológicas com a taxa de acúmulo de biomassa de *B. brizantha* cv. Marandú, observando melhores resultados com o uso de regressões multivariadas compostas pela temperatura mínima, a radiação solar global e a evapotranspiração real.

Para cultivares dos gêneros *Brachiaria* e *Panicum*, também existem na literatura diversas parametrizações de modelos mecanísticos com o objetivo de estimar a produtividade,

como por exemplo os trabalhos de Giraldo et al. (1998) com *B. decumbens*, Pedreira et al. (2009) e Pedreira et al. (2011) com *B. brizantha* cv. Xaraés, e Lara et al. (2012) com *P. maximum* cv. Tanzânia, todos com o modelo CROPGRO. Cruz (2010) avaliou a produção de *B. brizantha*, cultivares Xaraés, Marandú e Piatã, utilizando os modelos CROPGRO e GRAZPLAN, enquanto que Araújo et al. (2013) empregaram o modelo APSIM para *P. maximum* cv. Mombaça.

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), o modelo da Zona Agroecológica (FAO-MZA) considera o fotoperíodo, a temperatura do ar e a radiação solar global nas estimativas da produtividade potencial (PP) e calcula a produtividade atingível (PA) por meio da penalização da produtividade potencial (PP) pela deficiência hídrica, expressa de forma relativa pela expressão  $(1 - E_{Tr}/E_{Tc})$ , a qual indica o quanto a cultura deixa de evapotranspirar em relação à evapotranspiração máxima da cultura. Esse método pode ser eficiente na estimativa da produtividade de pastagens, pois reúne as variáveis agrometeorológicas que mais influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas forrageiras tropicais. No entanto, não há registros na literatura sobre a aplicação desse método para tais plantas, ainda mais em Sistemas Silvopastoris (SSPs).

Por outro lado, na modelagem de sistemas agroflorestais, devido à sua heterogeneidade e grande complexidade, provocadas pela combinação da cultura ou pastagem com árvores e pelos fluxos de massa e energia entre seus diferentes componentes, as simulações deveriam, além de simular os processos dinâmicos dentro de cada componente, descrever as mudanças nas interações entre eles (HUTH et al., 2003).

No contexto dos sistemas silvipastoris, a parametrização de modelos para a estimativa da produtividade das forrageiras, surge como uma alternativa viável para o planejamento da implantação de pastagens e para a avaliação de estratégias de manejo, de modo a minimizar os riscos, especialmente os associados à variabilidade climática.

Partindo-se do fato de que os modelos agrometeorológicos podem ser utilizados para estimar a produtividade de espécies do gênero *Brachiaria*, tanto a pleno sol como em sistemas silvipastoris, esse estudo teve por objetivo calibrar e testar o modelo FAO-MZA para a estimativa da produtividade potencial e atingível de três cultivares de *B. brizantha* a pleno sol e, posteriormente, avaliar a capacidade de tal parametrização para estimar a produtividade de *B. decumbens* em diferentes pontos de um sistema silvipastoril.

## 4.2 Material e métodos

### 4.2.1 Caracterização do experimento com *B. brizantha* a pleno sol

O experimento foi implantado na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (21°57'42" S, 47°50'28" W, 860 m). O clima é classificado como Cwa (Köppen), com duas estações bem definidas: estação seca, de abril a setembro, que apresenta temperatura média de 19,9 °C e 250 mm de chuva e estação chuvosa, de outubro a março, com temperatura média anual de 23 °C e 1100 mm de chuva. O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico.

Em fevereiro de 2011, após preparo do solo e correções dos atributos químicos, foi realizada a semeadura de três cultivares de *B. brizantha* (Marandú, Xaraés e Piatã) em parcelas de 5 x 5 m, em duas situações de manejo: com e sem irrigação. A irrigação foi por aspersão, com turno de rega variável, levando-se em conta a diferença acumulada entre a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) calculada pela equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998) e a precipitação, tendo como parâmetro para o início da irrigação o momento em que a água facilmente disponível (AFD) fosse totalmente consumida e para o término da irrigação a chegada da umidade do solo à capacidade de campo (CC). A AFD considerada para esse caso foi de 20 mm e a capacidade de água disponível (CAD) de 60 mm. Após 60 dias da semeadura procedeu-se um corte de nivelamento, com o início da coleta de dados para a parametrização do modelo. Foi utilizado um delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições.

No período de abril de 2011 a maio de 2012 foram conduzidos oito ciclos de crescimento, com duração variando de 35 (épocas quentes) a 56 dias (épocas frias), com quatro avaliações de produtividade e características biométricas em cada um (Tabela 4.1), compondo um total de 32 dados de produtividade, sendo que após o corte final de cada ciclo era feito o rebaixamento das parcelas a 0,2 m do solo, dando início a um novo ciclo de crescimento. Após cada corte de nivelamento, as parcelas eram adubadas com N na forma de uréia, totalizando 300 kg de N ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>.

Tabela 4.1 - Datas de coleta de forragem durante os oito ciclos de crescimento para três cultivares de *Brachiaria brizantha* em São Carlos, SP

Ciclos	Corte de				
	rebaixamento	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta Final
1	26/04/2011	17/5	24/5	7/6	21/06/2011
2	22/06/2011	13/7	20/7	2/8	16/08/2011
3	17/08/2011	30/8	13/9	27/9	11/10/2011
4	18/10/2011	25/10	1/11	8/11	22/11/2011
5	23/11/2011	6/12	13/12	20/12	03/01/2012
6	04/01/2012	10/1	17/1	31/1	14/02/2012
7	15/02/2012	28/2	13/3	20/3	27/03/2012
8	28/03/2012	10/4	24/4	8/5	22/05/2012

#### 4.2.2 Coleta dos dados do experimento com *B. brizantha* a pleno sol

Em cada coleta do experimento com *B. brizantha* a pleno sol foram retiradas duas sub-amostras por parcela para quantificação do acúmulo de fitomassa, utilizando-se um quadrado amostrador com área de 0,25 m<sup>2</sup>. A forragem recém-coletada foi pesada, sendo posteriormente as duas sub-amostras de cada parcela misturadas para a retirada de duas amostras de aproximadamente 200 g de massa verde: uma amostra para realizar a separação morfológica (colmos e bainhas, folhas e materiais senescentes) e outra amostra para a determinação da matéria seca. A determinação da porcentagem de matéria seca (%MS) das frações morfológicas foi feita pesando-se as sub-amostras antes e após a secagem em estufa de ventilação forçada a 60 °C, até atingirem peso constante. Com o conhecimento prévio do peso da massa verde colhida em 0,25 m<sup>2</sup>, foi possível estimar a produção da matéria seca das frações nesta área e, conseqüentemente, estimar esses valores em um hectare (kg ha<sup>-1</sup>).

Realizada a separação morfológica, as frações referentes às folhas foram utilizadas para determinação da área foliar (antes de irem para estufa), com o auxílio de um integrador de área foliar modelo LI-3100C (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, EUA). Juntando-se os dados de área foliar, o peso das folhas verdes e a área em que a forragem foi coletada (0,25 m<sup>2</sup>) determinou-se o índice de área foliar (IAF).

#### 4.2.3 Parametrização do FAO-MZA para cultivares de *B. brizantha* a pleno sol

Para a parametrização do FAO-MZA foram utilizados os dados de produtividade e de IAF de *B. brizantha*, coletados no experimento descrito nos dois itens anteriores. As médias de produtividade das cultivares, em cada uma das 32 coletas, foram utilizadas para

comparação com a produtividade potencial da pastagem, no caso do experimento irrigado; e com a produtividade atingível para o experimento não irrigado, ambas estimadas pelo modelo.

A produtividade potencial (PP) das cultivares foi calculada pela seguinte equação, descrita por Doorenbos e Kassam (1979):

$$PP = \sum_{i=1}^n (PPB_i * C_{IAFi} * C_{Ri} * C_{ci}) \quad (4.1)$$

em que: PPB corresponde à produtividade potencial bruta de uma cultura padrão (kg MS ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>), calculada em função da disponibilidade de radiação solar, fotoperíodo e temperatura; C<sub>R</sub> é a correção da taxa de respiração de manutenção da cultura; C<sub>IAF</sub> é o índice de correção da área foliar, sendo necessário devido à variação da área foliar ao longo do ciclo, disponível para realizar fotossíntese; C<sub>C</sub> é o índice de colheita, efetuando a correção para o produto de interesse da cultura, que no caso de plantas forrageiras é a parte aérea disponível para a colheita ou pastejo; i é o dia do ciclo e n a duração do ciclo.

Para se determinar a produtividade potencial bruta (PPB) é necessário aplicar equações que levam em conta as condições de nebulosidade, expressa pela razão de insolação (n/N), apresentadas por Pereira et al. (2002), já que a presença de nuvens altera a quantidade e a qualidade da radiação solar incidente, assim como a eficiência de aproveitamento da energia radiante pelas folhas. As equações para a estimativa da PPB nos períodos de céu nublado (PPBn) e de céu claro (PPBc) são:

$$PPB = PPBn + PPBc \quad (4.2)$$

$$PPBn = (3,17 + 5,234 * Q_0) * cTn * (1 - n/N) \quad (4.3)$$

$$PPBc = (107,2 + 8,604 * Q_0) * cTc * (n/N) \quad (4.4)$$

em que: Q<sub>0</sub> é a irradiância solar extraterrestre (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>); cTn é a correção devido à temperatura no período nublado; cTc é correção devido à temperatura no período de céu claro; n é a insolação (h); e N é o fotoperíodo (h). Como, no presente experimento a medida da insolação não foi feita, esta foi estimada a partir da Eq. 4.9. Para se chegar a esta equação, foram extraídos os termos de correção para o efeito da nebulosidade (f) das equações de Brunt, modificada por Doorenbos e Pruitt (1975), que considera a razão entre n e N (Eq. 4.5) e a descrita por Allen et al. (1998), que utiliza a razão entre a radiação solar global (RS) e a

radiação solar global sem a presença de nuvens (RSo) (Eq. 4.6), ambas utilizadas para o cálculo do balanço de ondas longas:

$$f = (0,1 + 0,9 n/N) \quad (4.5)$$

$$f = (1,35 * RS/RSo - 0,35) \quad (4.6)$$

Igualando-se os dois termos extraídos, chega-se à Eq. 4.7, e, posteriormente, isolando-se a razão de insolação, obtem-se a Eq. 4.9, a qual permite a estimativa de  $n/N$  a partir da radiação solar global:

$$0,1 + 0,9 * n/N = (1,35 * RS/RSo - 0,35) \quad (4.7)$$

$$n/N = (1,35 * RS/RSo - 0,35 - 0,1) / 0,9 \quad (4.8)$$

$$n/N = 1,5 * RS/RSo - 0,5 \quad (4.9)$$

sendo RSo estimada pela seguinte equação, descrita por Allen et al. (1998):

$$RSo = (a + b) * Qo \quad (4.10)$$

em que:  $a = 0,25$ ,  $b = 0,5$  e  $Qo$  é a radiação solar extraterrestre em  $MJ m^{-2} d^{-1}$ .

Para calcular as correções para a temperatura ( $cTn$  e  $cTc$ ), no caso de espécies do gênero *Brachiaria*, que são plantas  $C_4$ , utilizou-se as equações do Grupo 3, segundo Pereira et al. (2002):

Para  $T \geq 16,5^\circ C$ :

$$cTn = -1,064 + 0,173 * T - 0,0029 * T^2 \quad (4.11)$$

$$cTc = -4,16 + 0,4325 * T - 0,00725 * T^2 \quad (4.12)$$

Para  $T < 16,5^\circ C$ :

$$cTn = -4,16 + 0,4325 * T - 0,00725 * T^2 \quad (4.13)$$

$$cTc = -9,32 + 0,865 * T - 0,0145 * T^2 \quad (4.14)$$

em que  $T$  é a temperatura média do período considerado, em  $^\circ C$ .

No caso da Correção para o Índice de Área Foliar ( $C_{IAF}$ ), como os dados de IAF foram medidos, e considerando-se que o IAF máximo do modelo é igual a 5, o cálculo foi feito considerando-se as seguintes relações:

$$C_{IAF} = \frac{IAF_{real}}{5} \text{ (para } IAF_{real} < 5) \quad (4.15)$$

$$C_{IAF} = 1 \text{ (para } IAF_{real} \geq 5) \quad (4.16)$$

Entretanto, como os valores diários de IAF não estavam disponíveis para utilização nas simulações, esses foram estimados por meio do ajuste de uma equação linear relacionando os dados disponíveis de IAF com o acúmulo de graus-dia ( $\Sigma GD$ ) (Eq. 4.17), considerando a temperatura base inferior ( $T_{bi}$ ) de 17,2 °C, definida por Cruz (2010):

$$IAF = a + b * \Sigma GD \quad (4.17)$$

em que: a e b são os coeficientes linear e angular da relação entre o IAF ( $m^2 m^{-2}$ ) e o  $\Sigma GD$  (°C dia).

O coeficiente relativo à respiração de manutenção ( $C_R$ ), segundo Doorenbos e Kassam (1979), é determinado de acordo com a temperatura média do ar a cada dia, da seguinte forma:

$$C_R = 0,6 \text{ para } T < 20^\circ C \quad (4.18)$$

$$C_R = 0,5 \text{ para } T \geq 20^\circ C \quad (4.19)$$

Finalmente, a correção para a parte colhida ( $C_C$ ) foi calibrada, pois como os outros parâmetros utilizados para o cálculo da PP já estavam definidos, foi necessário apenas ajustar esse coeficiente de modo a atingir o melhor resultado na comparação entre a produtividade potencial observada e a produtividade potencial estimada.

Posteriormente, foi calculada a produtividade atingível (PA), dada pela seguinte equação:

$$PA = \sum_{i=1}^n \left\{ PP_i * \left[ 1 - ky * \left( 1 - \frac{ETr_i}{ETC_i} \right) \right] * C_{C_{corr\ i}} \right\} \quad (4.20)$$

em que:  $ky$  é o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico;  $C_{C_{corr}}$  é a correção para o índice de colheita, dependente da deficiência hídrica (0,7 para valores de  $ETr/ETc < 0,5$  e 1,0 para valores de  $ETr/ETc \geq 0,5$ ), pois em condições de déficit hídrico intenso ocorrem maiores perdas por senescência e alocação de fotoassimilados para o aumento do sistema radicular em busca de água;  $i$  é o dia do ciclo;  $n$  é a duração do ciclo;  $ETr$  a evapotranspiração real da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ ); e  $ETc$  a evapotranspiração máxima da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), dada por:

$$ETc = ETo * Kc \quad (4.21)$$

sendo  $Kc$  o coeficiente da cultura (considerado igual a 1 neste caso, pois não existem valores para tal coeficiente na literatura) e  $ETo$  a evapotranspiração de referência, estimada pela equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998), utilizando-se dados de saldo de radiação, fluxo de calor no solo, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento, coletados no posto meteorológico, sob condições padrões, localizado a aproximadamente 500 m do experimento. A  $ETr$  foi estimada por meio do balanço hídrico sequencial da cultura, de acordo com o método de Thornthwaite e Mather (1955), calculado com dados coletados externamente ao sistema, portanto não considerando a competição por água entre as árvores e a pastagem.

O  $Ky$  foi determinado por meio do processo de calibração, já que não há valores na literatura para espécies de *Brachiaria*, e como os outros parâmetros já estavam definidos para o cálculo da produtividade atingível, o coeficiente foi ajustado por meio da comparação entre os dados de  $PA$ , obtidos a campo, e os estimados pelo modelo, de modo a se minimizar a diferença entre as produtividades estimadas e as observadas.

#### 4.2.4 Teste do modelo com os dados utilizados na calibração e com o IAF estimado

Para a avaliação da capacidade do FAO-MZA em estimar as produtividades potencial e atingível da *B. brizantha*, cultivares Marandú, Xaraés e Piatã, foram utilizados os dados de produtividade obtidos no experimento original, que foram usados na calibração do modelo, comparando-os com os dados estimados pelo modelo, calculados por meio das equações já

descritas no item 4.2.1, porém, substituindo-se os dados de IAF observados pelos de IAF estimado pelas equações propostas no item 4.3.2.

#### **4.2.5 Teste do modelo para a estimativa da produtividade potencial de *B. brizantha***

Para o teste do modelo, quanto à estimativa de produtividade potencial, para a *B. brizantha*, cultivares Marandú, Piatã e Xaraés, foram utilizados dados independentes coletados em outro experimento, o qual também foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP, no período de 27 de abril de 2009 a 01 de março de 2010, sob condições irrigadas, com avaliações de produtividade em nove ciclos de rebrota, com duração variando entre 28 e 36 dias, totalizando nove dados médios de produtividade por cultivar.

Para as estimativas de produtividade, foram seguidos os mesmos procedimentos descritos no item anterior, com os mesmos índices já calibrados. Posteriormente, foram comparadas as produtividades potenciais observadas e as estimadas pelo modelo, de modo a avaliá-lo.

No caso da produtividade atingível, não foi feito o teste, pois, em alguns ciclos com boas condições hídricas, os valores nas parcelas irrigadas, foram menores que nas parcelas não irrigadas, provavelmente devido a diferenças fisiológicas, estruturais e/ou nutricionais, variação esta que não pôde ser explicada pelo modelo.

#### **4.2.6 Teste do modelo para *B. decumbens* em sistema silvipastoril**

Com os dados obtidos a campo, descritos no Capítulo 3, em condições de sequeiro, em seis ciclos de rebrota (o ciclo 2 foi desconsiderado, pois houve sub-pastejo na área, prejudicando a confiabilidade dos dados) com 35 dias cada, totalizando 20 dados de produtividade atingível observada, efetuou-se o teste do modelo FAO-MZA, já calibrado para *B. brizantha*, para estimar a produção de forragem no sistema silvipastoril. Para isso foi utilizado o método da simulação de múltiplos pontos (*multi-point simulation*) descrito por Huth et al. (2003), efetuando a simulação em vários pontos (subsistemas), sob distâncias diferentes em relação às árvores.

Para a estimativa da produtividade atingível foram utilizados os mesmos passos já descritos nos itens 4.2.3 e 4.2.4, utilizando os coeficientes calibrados para *B. brizantha* cv. Marandú, somente diferenciando-se o cálculo do IAF, o qual precisou ser refeito para a *B. decumbens*, por meio da geração de uma nova equação linear baseada no acúmulo de graus-

dia, pois, por essa espécie ser mais rústica, o seu crescimento foi menor e, conseqüentemente, a razão entre o aumento da área foliar e o acúmulo térmico também foi menor. Para este caso, no cálculo dos GD foi utilizada uma  $T_{bi}$  de 16,7 °C (MENDONÇA; RASSINI, 2006).

Finalmente, os dados de PA estimados foram comparados com os observados para testar o desempenho do modelo.

#### 4.2.7 Análise dos dados

Para a avaliação do desempenho dos modelos de estimativa da produtividade de forragem, foram utilizados os seguintes métodos, índices e erros:

- a) análise de regressão linear e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), sendo que o  $R^2$  pode variar de 0 a 1, e quanto mais próximo a 1 melhor é a precisão do modelo;
- b) coeficiente de Pearson ( $r$ ), que representa a correlação entre duas variáveis, podendo variar entre -1 e 1. O valor de  $r = -1$  representa correlação negativa perfeita,  $r = 1$  correlação positiva perfeita e  $r = 0$  significa que não há correlação entre as variáveis;
- c) índice de concordância ( $d$ ) de Willmott (WILLMOTT et al., 1985), o qual avalia a exatidão ou acurácia do modelo em estimar os dados de interesse. Varia de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximo a 1, mais exata é a estimativa, porém não considera a dispersão dos dados;
- d) índice de confiança ( $c$ ) de Camargo e Sentelhas (1997), o qual integra em um único índice a avaliação da precisão e da exatidão das estimativas do modelo, sendo resultante da multiplicação entre o  $r$  e  $d$ . O índice  $d$  varia de 0 a 1, podendo ser classificado como: ótimo ( $>0,85$ ), muito bom (de 0,76 a 0,8), bom (de 0,66 a 0,75), mediano (de 0,61 a 0,65), sofrível (de 0,51 a 0,60), mau (de 0,41 a 0,50) e péssimo ( $<0,41$ );
- e) coeficiente de eficiência da modelagem (EF) de Nash e Sutcliffe (1970) é utilizado para avaliar a capacidade preditiva dos modelos, ou seja, a sua exatidão. Seus valores variam de -1 a 1, sendo que, um EF negativo representa que o modelo não é eficiente, enquanto que, valores positivos próximos a zero representam eficiência média e valores próximos a 1 eficiência boa, considerando que 1 demonstra eficiência perfeita;
- f) Erro Médio (EM), o qual indica o desvio das estimativas, ou seja, se há sub ou superestimativas;
- g) Erro Absoluto Médio (EAM), o qual indica a ordem de magnitude do erro da estimativa em relação aos dados observados;

h) Erro Médio Relativo (EMR) e Erro Absoluto Médio Relativo (EAMR), os quais representam os erros EM e EAM em termos relativos, variando de 0 a 1, sendo que, quanto mais próximos de zero melhor é a estimativa pelo modelo.

### 4.3 Resultados e discussão

#### 4.3.1 Parametrização do FAO-MZA para cultivares de *B. brizantha* a pleno sol

##### 4.3.1.1 Calibração para produtividade potencial

O processo de calibração dos coeficientes do FAO-MZA foi feito para cada uma das cultivares, separadamente. Assim, para a cultivar Marandú, o índice de correção para a parte colhida ( $C_c$ ) calibrado foi de 0,6, ou seja, considerou-se que 60 % da MS acumulada pela planta foi alocada para o crescimento da parte aérea acima dos 0,2 m (altura do resíduo). Com isso, os dados estimados de produtividade potencial quando comparados aos observados apresentaram boa concordância (Figura 4.1a), havendo boa precisão, com índice  $r$  de 0,91 e  $R^2$  de 0,83; índice  $c$  muito bom (0,86); boa exatidão, com índice  $d$  de 0,94, e EF de 0,78. Os erros foram baixos, sendo o EM igual a  $-277,01 \text{ kg ha}^{-1}$ , o EAM igual a  $464,75 \text{ kg ha}^{-1}$ , que resultaram em EMR de -0,17 e EAMR de 0,29 (Tabela 4.2). O desempenho do modelo poderia ter sido ainda melhor caso não tivesse ocorrido florescimento das plantas no ciclo 7, o que provocou o estiolamento destas, com maior alocação de fotoassimilados para o colmo, componente morfológico com maior razão massa seca/massa verde, o que aumentou a produção de MS de parte aérea.

Para a cultivar Piatã foi empregado um  $C_c$  calibrado de 0,85, considerando que 85 % da MS acumulada foi alocada para a parte aérea acima dos 0,2 m. Essa cultivar apresenta o  $C_c$  maior que as demais cultivares por possuir hábito de crescimento mais ereto e, conseqüentemente, maior razão entre o acúmulo de MS acima dos 0,2 m e o acúmulo abaixo disso. Assim sendo, a análise comparativa dos dados estimados e observados gerou boa concordância (Figura 4.1b), com precisão elevada, com  $r$  de 0,86 e  $R^2$  de 0,74; índice  $c$  de 0,79, considerado muito bom; exatidão boa, com  $d$  de 0,92 e EF de 0,65; erro médio baixo (EM =  $-97,77 \text{ kg ha}^{-1}$  e EMR = -0,06) e erro absoluto regular (EAM =  $533,52 \text{ kg ha}^{-1}$  e EAMR = 0,32) (Tabela 4.2). Os maiores erros observados para essa cultivar foram provocados pelo florescimento no ciclo 7, a exemplo da cultivar Marandú, no entanto, o efeito da diferenciação do meristema apical e da sua maior altura para essa cultivar, comprovada por Cruz (2010),

provavelmente, provocaram a decepa deste e, como consequência, diminuindo a produtividade observada no ciclo 8, quando a planta precisou alocar fotoassimilados para o desenvolvimento de novos perfilhos.

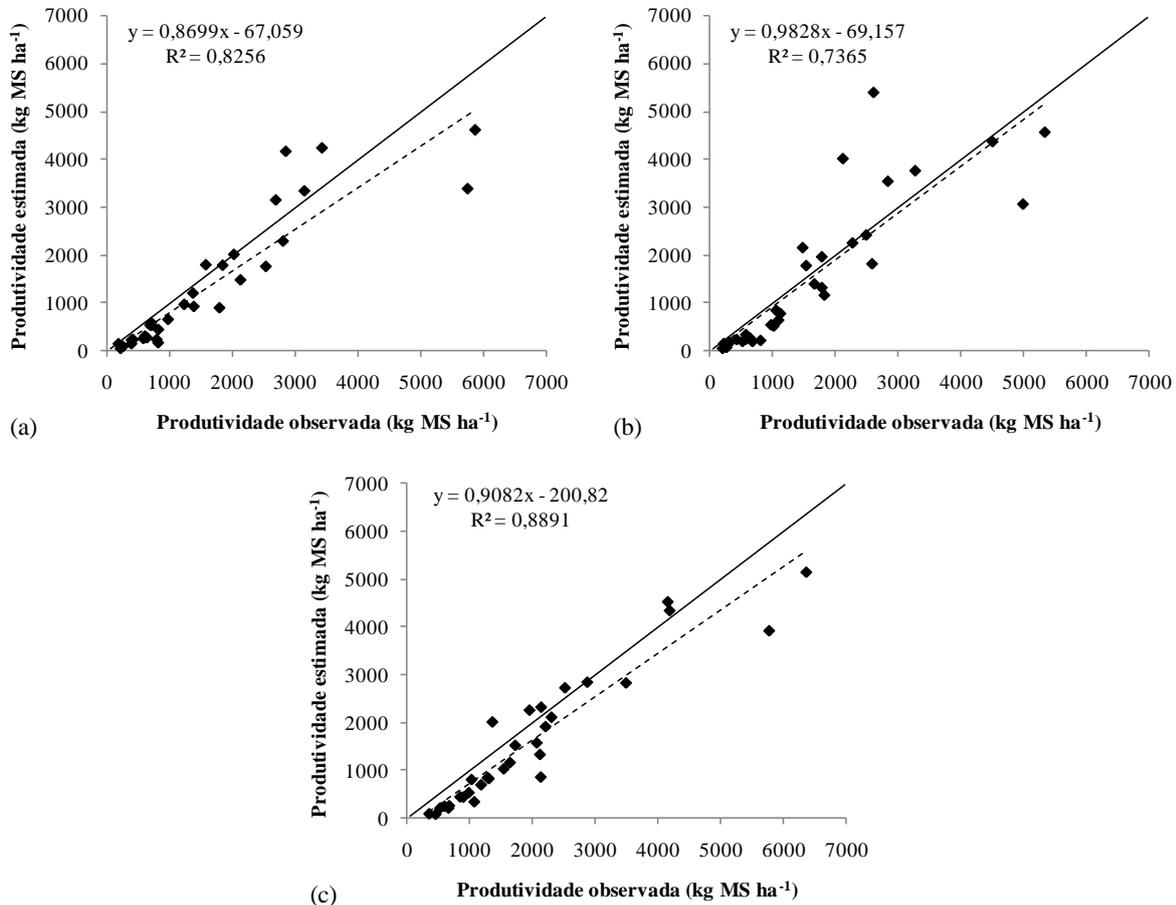


Figura 4.1 - Relação entre a produtividade potencial da *B. brizantha* observada e estimada pelo FAO-MZA, para as cultivares Marandú (a), Piatã (b) e Xaraés (c), na fase de calibração do modelo

No caso da cultivar Xaraés, o Cc calibrado foi de 0,6, assim como para a cultivar Marandú. A utilização desse índice nas estimativas gerou alta concordância entre os valores estimados e observados (Figura 4.1c), com boa precisão ( $r = 0,94$  e  $R^2 = 0,89$ ), ótimo índice c (0,90), boa exatidão ( $d = 0,95$  e  $EF = 0,82$ ) e erros baixos, com EM de  $-379,68 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $EMR = -0,19$ ) e EAM de  $497,32 \text{ kg ha}^{-1}$  ( $EAMR = 0,26$ ) (Tabela 4.2). Da mesma forma que para a cultivar Marandú, houve subestimativa dos dados no ciclo 7, provocada pelo florescimento, como já descrito.

No ciclo 6 houve um decréscimo acentuado da incidência de radiação solar, bem como do acúmulo de graus-dia (Figura 4.3), pois ocorreram vários dias com nebulosidade. Entretanto, a eficiência das estimativas de produtividade pelo FAO-MZA, não foram afetadas

(Anexo E e Anexo I), demonstrando a boa capacidade desse modelo em captar as variações dos fatores agrometeorológicos.

Tabela 4.2 - Índices estatísticos e erros referentes à análise comparativa entre os dados de produtividade potencial, observados e estimados pelo FAO-MZA, para três cultivares de *B.brizantha*, na fase de calibração do modelo. Sendo: r = coeficiente de correlação,  $R^2$  = coeficiente de determinação, c = índice de confiança, d = índice de concordância, EF = índice de eficiência da modelagem, EM = erro médio, EAM = erro absoluto médio, EMR = erro médio relativo e EAMR = erro absoluto médio relativo

Cultivar	r	$R^2$	d	c	EF	EM (Kg ha <sup>-1</sup> )	EAM (Kg ha <sup>-1</sup> )	EMR	EAMR
Marandú	0,91	0,83	0,94	0,86	0,78	-277,01	464,75	-0,17	0,29
Piatã	0,86	0,74	0,92	0,79	0,65	-97,77	533,52	-0,06	0,32
Xaraés	0,94	0,89	0,95	0,90	0,82	-379,68	497,32	-0,19	0,26

#### 4.3.1.2 Calibração para produtividade atingível

Na fase de calibração para a produtividade atingível efetuou-se o ajuste do coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (ky) de cada cultivar. Para a cultivar Marandú, o ky calibrado foi de 0,6, gerando a melhor relação entre os dados observados e estimados (Figura 4.2a), resultando em boa precisão (r = 0,89 e  $R^2$  = 0,78), c de 0,80 (muito bom), boa exatidão (d = 0,90 e EF = 0,68), erro médio baixo (EM = -404,64 kg ha<sup>-1</sup> e EMR = -0,29) e erro absoluto médio regular (EAM = 515,16 kg ha<sup>-1</sup> e EAMR = 0,37) (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Índices estatísticos e erros referentes à análise comparativa entre os dados de produtividade atingível observados e estimados pelo FAO-MZA, para três cultivares de *B.brizantha*, na fase de calibração do modelo. Sendo: r = coeficiente de correlação,  $R^2$  = coeficiente de determinação, c = índice de confiança, d = índice de concordância, EF = índice de eficiência da modelagem, EM = erro médio, EAM = erro absoluto médio, EMR = erro médio relativo e EAMR = erro absoluto médio relativo

Cultivar	r	$R^2$	d	c	EF	EM (Kg ha <sup>-1</sup> )	EAM (Kg ha <sup>-1</sup> )	EMR	EAMR
Marandú	0,89	0,78	0,90	0,80	0,68	-404,64	515,16	-0,29	0,37
Piatã	0,75	0,56	0,84	0,63	0,48	-354,02	719,94	-0,22	0,46
Xaraés	0,84	0,71	0,85	0,72	0,53	-617,03	743,26	-0,35	0,42

No caso da cultivar Piatã, o valor de ky que proporcionou o melhor ajuste foi de 0,4, mostrando que esta cultivar é mais resistente ao déficit hídrico do que a cultivar Marandú, assim como relatado por Cruz et al. (2009), isso se deve ao controle das trocas gasosas pelo fechamento de estômatos que pode ser um dos mecanismos de adaptação ao estresse por

déficit hídrico desenvolvidos por essa cultivar (SANTOS et al., 2013). A comparação entre as produtividades atingíveis estimadas e observadas (Figura 4.2b) resultaram em precisão regular ( $r = 0,75$  e  $R^2 = 0,56$ ), devido à maior variabilidade entre as parcelas da cultivar Piatã, confiança mediana ( $c = 0,63$ ), exatidão regular ( $d = 0,84$  e  $EF = 0,48$ ), erro médio baixo ( $EM = -354,02 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EMR = -0,22$ ) e erro absoluto médio elevado ( $EAM = 719,94 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EAMR = 0,46$ ).

Para a cultivar Xaraés foi empregado um  $k_y$  de 0,6, valor igual ao da cultivar Marandú, devido à sua maior semelhança quanto às características estruturais. A utilização desse coeficiente resultou em estimativas razoáveis (Figura 4.2c), gerando boa precisão, com  $r$  de 0,84 e  $R^2$  de 0,7, confiança boa, com  $c$  de 0,72, exatidão regular, com  $d$  de 0,85 e  $EF$  de 0,53, erro médio regular ( $EM = -617,03 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EMR = -0,35$ ) e erro absoluto médio elevado ( $EAM = 743,26 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EAMR = 0,42$ ).

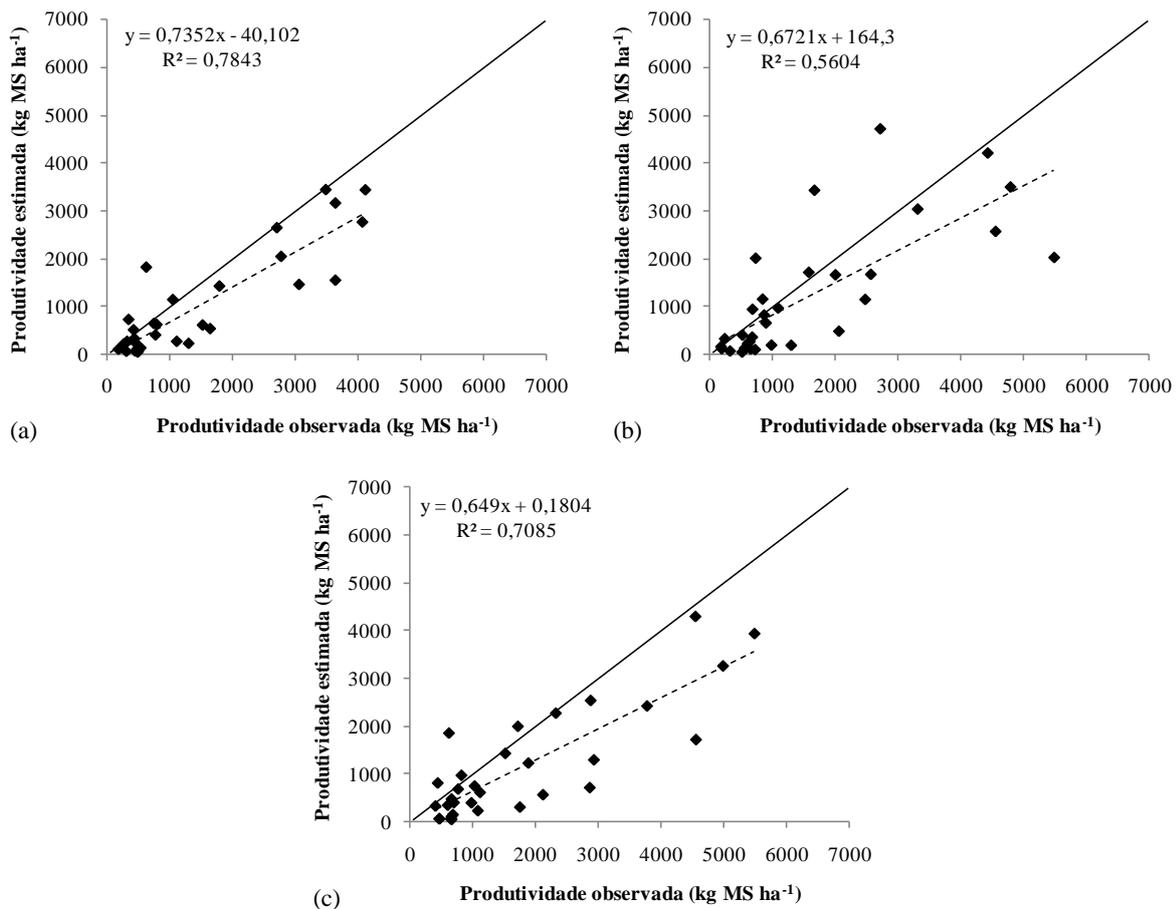


Figura 4.2 - Relação entre os dados de produtividade atingível de *B. brizantha* observados e estimados pelo FAO-MZA para as cultivares Marandú (a), Piatã (b) e Xaraés (c), na fase de calibração do modelo

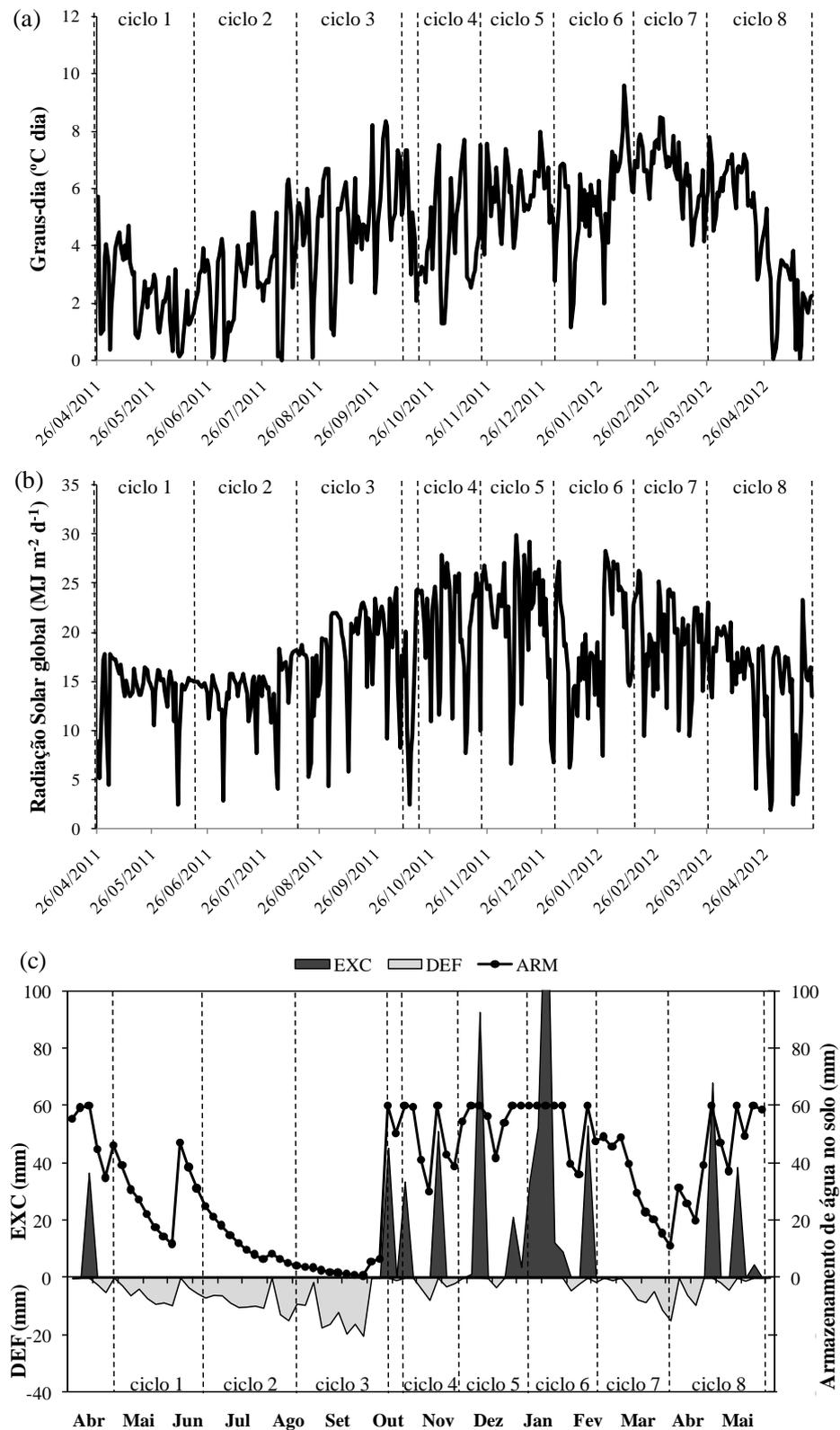


Figura 4.3 - Caracterização da dinâmica das condições ambientais durante o período experimental: a) Graus-dia; b) Radiação solar média; c) armazenamento de água no solo, deficiência hídrica e excedente hídrico, determinados pelo balanço hídrico sequencial para uma CAD = 60 mm

Os valores de  $k_y$  obtidos na calibração e empregados para as pastagens se assimilam do valor utilizado por Monteiro e Sentelhas (2013) para as fases vegetativas da cana-de-açúcar ( $k_y = 0,75$ ), que também é uma planta  $C_4$  e tem a sua produção fortemente baseada no total de matéria seca de parte aérea.

As análises relativas às estimativas das produtividades foram prejudicadas para as três cultivares pelo fato de que, nos ciclos 4, 5, e 6, os dados de produtividade no experimento irrigado foram menores do que no sob condições de sequeiro (Figura 4.4), já que isso não pôde ser explicado pelo modelo. Uma das hipóteses para explicar tal fato é que no ciclo 4 houve pouco déficit hídrico e uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas de sequeiro, pois a quantidade de adubo aplicada nas parcelas de sequeiro no ciclo 3 não foi totalmente utilizada devido ao intenso déficit hídrico ao longo do ciclo (Figura 4.3c). Além disso, as áreas irrigadas devem ter sofrido a ação de fatores bióticos, reduzindo assim seu crescimento.

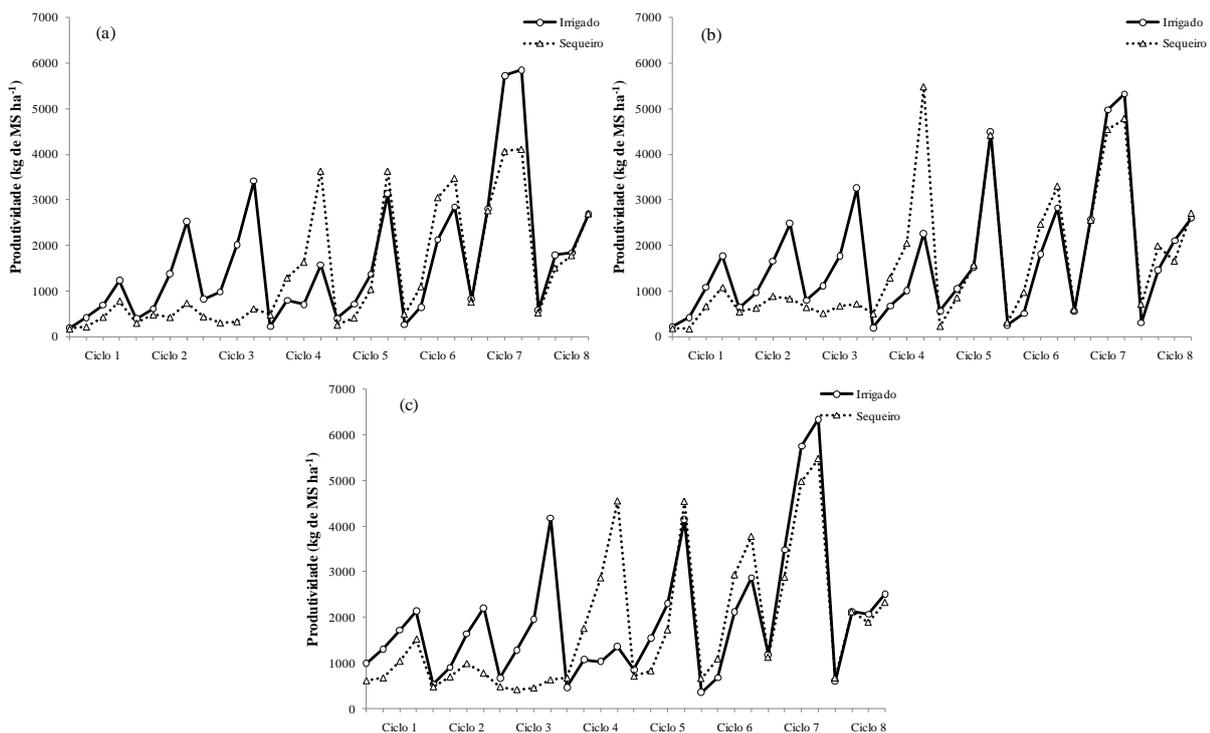


Figura 4.4 - Produtividade de forragem em oito ciclos de crescimento de *B. brizantha*, cultivares Marandú (a), Piatã (b), e Xaraés (c), nas condições de sequeiro e irrigada

### 4.3.2 Estimativa do IAF pelo acúmulo de Graus-dia

Quando se pretende utilizar o FAO-MZA a campo, é necessário que se façam estimativas dos valores de IAF, utilizado para o cálculo do  $C_{IAF}$ , sendo necessário definir os fatores ambientais que se correlacionam com o aumento da área foliar, que, nesse caso foi o acúmulo de graus-dia.

Com essa finalidade foi gerada uma regressão linear entre os graus-dia acumulados ao longo do ciclo ( $\Sigma GD$ ), para uma  $T_{bi} = 17,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e o IAF medido no experimento, para cada uma das cultivares, gerando três equações capazes de estimar o IAF, apresentadas na Figura 4.5. É importante salientar que foram retirados desta análise valores com resíduo padrão maior que 2 ou menor que -2, para eliminar dados duvidosos. Os dados gerados por essas equações foram comparados com os dados reais, para se avaliar a eficiência das estimativas (Tabela 4.4).

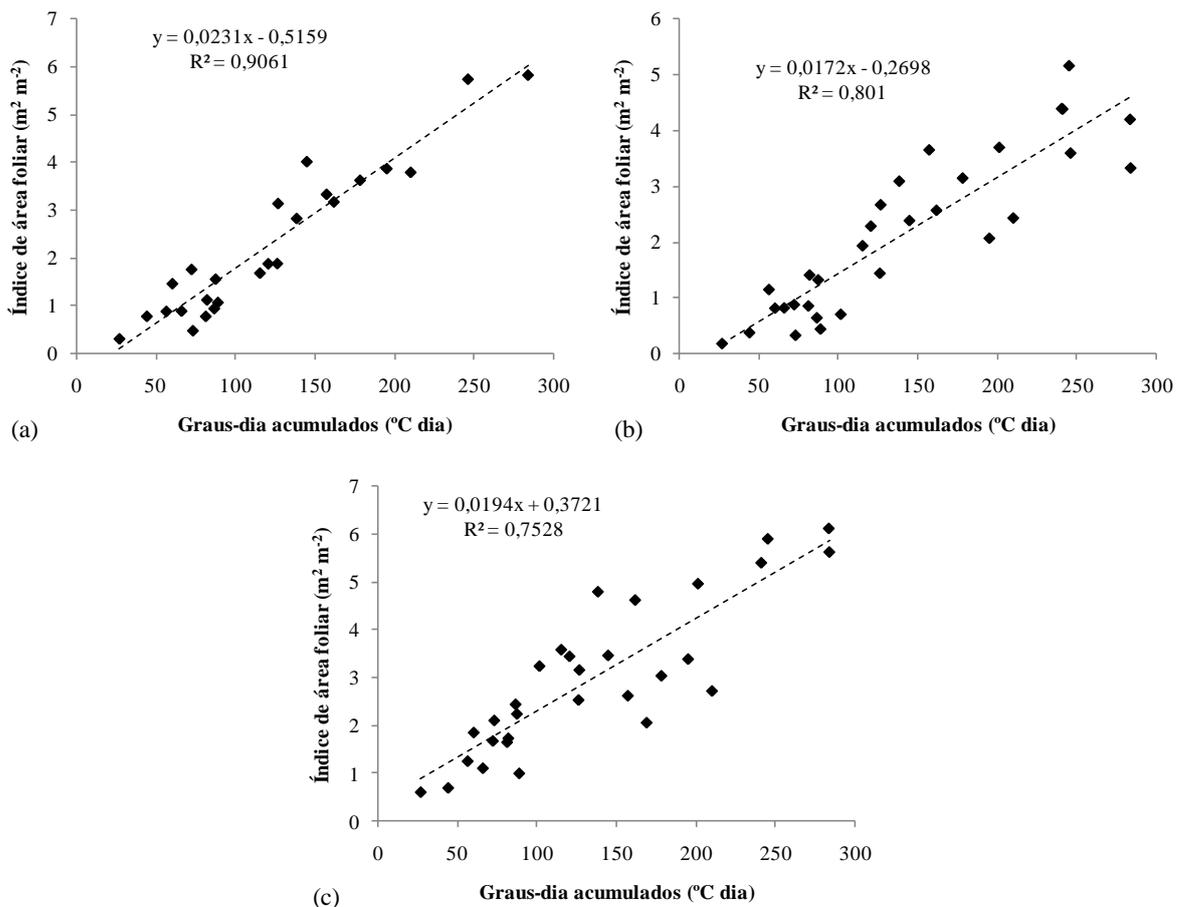


Figura 4.5 - Relação entre o IAF observado em condições de irrigação e o acúmulo de graus-dia, considerando a temperatura base inferior de  $17,2^{\circ}\text{C}$ , para as cultivares de *B. brizantha*: Marandú (a); Piatã (b); e Xaraés (c), na fase de calibração do modelo

Para a cultivar Marandú, as estimativas de IAF apresentaram boa precisão ( $r = 0,94$  e  $R^2 = 0,89$ ), confiança ótima ( $c = 0,90$ ), boa exatidão ( $d = 0,95$  e  $EF = 0,85$ ), e erros baixos ( $EM = -0,22 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ;  $EMR = -0,07$ ;  $EAM = 0,60 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  e  $EAMR = 0,20$ ).

Os resultados, para a cultivar Piatã indicaram precisão boa, com  $r$  de  $0,78$  e  $R^2$  de  $0,61$ ; confiança boa, com  $c$  de  $0,66$ ; exatidão boa, com  $d$  de  $0,85$  e  $EF$  de  $0,60$ ; erro médio baixo ( $EM = -0,15 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  e  $EMR = -0,06$ ) e erro absoluto médio regular ( $EAM = 0,64 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  e  $EAMR = 0,28$ ).

Tabela 4.4 - Índices estatísticos e erros referentes à análise comparativa entre o IAF observado e estimado pelas equações de regressão, para três cultivares de *B. brizantha*, na fase de calibração do modelo. Sendo:  $r$  = coeficiente de correlação,  $R^2$  = coeficiente de determinação,  $c$  = índice de confiança,  $d$  = índice de concordância,  $EF$  = índice de eficiência da modelagem,  $EM$  = erro médio,  $EAM$  = erro absoluto médio,  $EMR$  = erro médio relativo e  $EAMR$  = erro absoluto médio relativo

Cultivar	$r$	$R^2$	$d$	$c$	$EF$	$EM (\text{m}^2 \text{ m}^{-2})$	$EAM (\text{m}^2 \text{ m}^{-2})$	$EMR$	$EAMR$
Marandú	0,94	0,89	0,95	0,90	0,85	-0,22	0,60	-0,07	0,20
Piatã	0,78	0,61	0,85	0,66	0,60	-0,15	0,64	-0,06	0,28
Xaraés	0,78	0,60	0,87	0,68	0,60	0,05	0,78	0,02	0,25

No caso da cultivar Xaraés, as estimativas de IAF indicaram boa precisão ( $r = 0,78$  e  $R^2 = 0,60$ ), boa confiança ( $c = 0,68$ ), boa exatidão ( $d = 0,87$  e  $EF = 0,60$ ), erro médio baixo ( $EM = 0,05 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  e  $EMR = 0,02$ ) e erro absoluto médio regular ( $EAM = 0,78 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  e  $EAMR = 0,25$ ).

Os piores resultados, para as três cultivares, ocorreram no ciclo 7, caracterizando um aumento da área foliar, em períodos de florescimento, que não pode ser correlacionado com o acúmulo térmico. Entretanto, no geral, o aumento do IAF foi bem correlacionado com o acúmulo de GD ao longo do ciclo

O desempenho do modelo empregado para as forrageiras a pleno sol foi bastante satisfatório, se assemelhando aos ajustes de ordem mais empírica obtidos por Cruz et al. (2011), para a relação entre o acúmulo de graus-dia e o crescimento da pastagem de *B. brizantha*, com valor de  $R^2$  de até  $0,75$ . Pezzopane et al. (2012) também encontraram bons resultados, com o mesmo tipo de ajuste mencionado acima, porém para a *Panicum maximum* cv. Tanzânia, obtendo um  $R^2$  de  $0,84$ . Além disso, Tonato et al. (2010) também constatararam boa correlação entre a produtividade de forragem a a temperatura do ar, para forrageiras dos gêneros *Brachiaria*, *Panicum* e *Cynodon*.

### 4.3.3 Teste do modelo com os dados utilizados na calibração e com o IAF estimado

#### 4.3.3.1 Produtividade potencial

Quando se quer aplicar o FAO-MZA, a campo ou em larga escala, é necessário, além de calibrá-lo, testar o seu desempenho quando se consideram nos cálculos os valores de IAF estimados com base em fatores ambientais, avaliando se a junção dos erros já embutidos no modelo com os da estimativa de IAF prejudicarão as estimativas de produtividade.

Assim, ao se empregar os valores de IAF estimados pode-se observar para a cultivar Marandú que a relação entre as produtividades observadas e estimadas se mantiveram com os mesmos níveis de ajuste (Figura 4.6a), apresentando boa precisão, com índice  $r$  de 0,86 e  $R^2$  de 0,73, índice  $c$  muito bom (0,78), boa exatidão, com índice  $d$  de 0,90, e EF de 0,67. Os erros médios foram baixos, sendo o EM de  $-360,24 \text{ kg ha}^{-1}$  e o EMR de  $-0,22$ , enquanto que os erros absolutos foram apenas regulares, com EAM igual a  $566,85 \text{ kg ha}^{-1}$  e EAMR de 0,35 (Tabela 4.5).

A relação entre os dados de produtividade observados e estimados para cultivar Piatã (Figura 4.6b) demonstraram uma boa precisão, com  $r$  de 0,88 e  $R^2$  de 0,78, índice  $c$  de 0,82, considerado muito bom, exatidão boa, com  $d$  de 0,93, e EF de 0,72. Os erros médios novamente foram baixos (EM =  $-201,39 \text{ kg ha}^{-1}$  e EMR =  $-0,12$ ), enquanto que os erros absolutos foram regulares (EAM =  $544,96 \text{ kg ha}^{-1}$  e EAMR = 0,33).

Já as estimativas para a cultivar Xaraés foram muito eficientes (Figura 4.6c), com boa precisão ( $r = 0,85$  e  $R^2 = 0,73$ ),  $c$  de 0,78 (muito bom), boa exatidão ( $d = 0,91$  e EF = 0,69), erros médios baixos (EM de  $-221,69 \text{ kg ha}^{-1}$  e EMR de  $-0,11$ ), e erros absolutos regulares (EAM de  $597,89 \text{ kg ha}^{-1}$  e EAMR de 0,31).

Tabela 4.5 - Índices estatísticos e erros referentes à análise comparativa entre os dados de produtividade potencial, observados e estimados pelo FAO-MZA, para três cultivares de *B. brizantha*, na fase de teste do modelo. Sendo:  $r$  = coeficiente de correlação,  $R^2$  = coeficiente de determinação,  $c$  = índice de confiança,  $d$  = índice de concordância, EF = índice de eficiência da modelagem, EM = erro médio, EAM = erro absoluto médio, EMR = erro médio relativo e EAMR = erro absoluto médio relativo.

Cultivar	$r$	$R^2$	$d$	$c$	EF	EM (Kg ha <sup>-1</sup> )	EAM (Kg ha <sup>-1</sup> )	EMR	EAMR
Marandú	0,86	0,73	0,90	0,78	0,67	-360,24	566,85	-0,22	0,35
Piatã	0,88	0,78	0,93	0,82	0,72	-201,39	544,96	-0,12	0,33
Xaraés	0,85	0,73	0,91	0,78	0,69	-221,69	597,89	-0,11	0,31

Os ajustes apresentados na Tabela 4.5 foram piores do que os encontrados na calibração, quando se utilizou o  $IAF_{real}$ , o que indica que houve uma propagação de erros, ou seja, que os erros do modelo de IAF afetou o desempenho do modelo de estimativa da produtividade. Entretanto, mesmo considerando-se o aumento dos erros, os resultados foram satisfatórios e demonstram que o modelo foi eficiente em estimar a produtividade potencial das três cultivares.

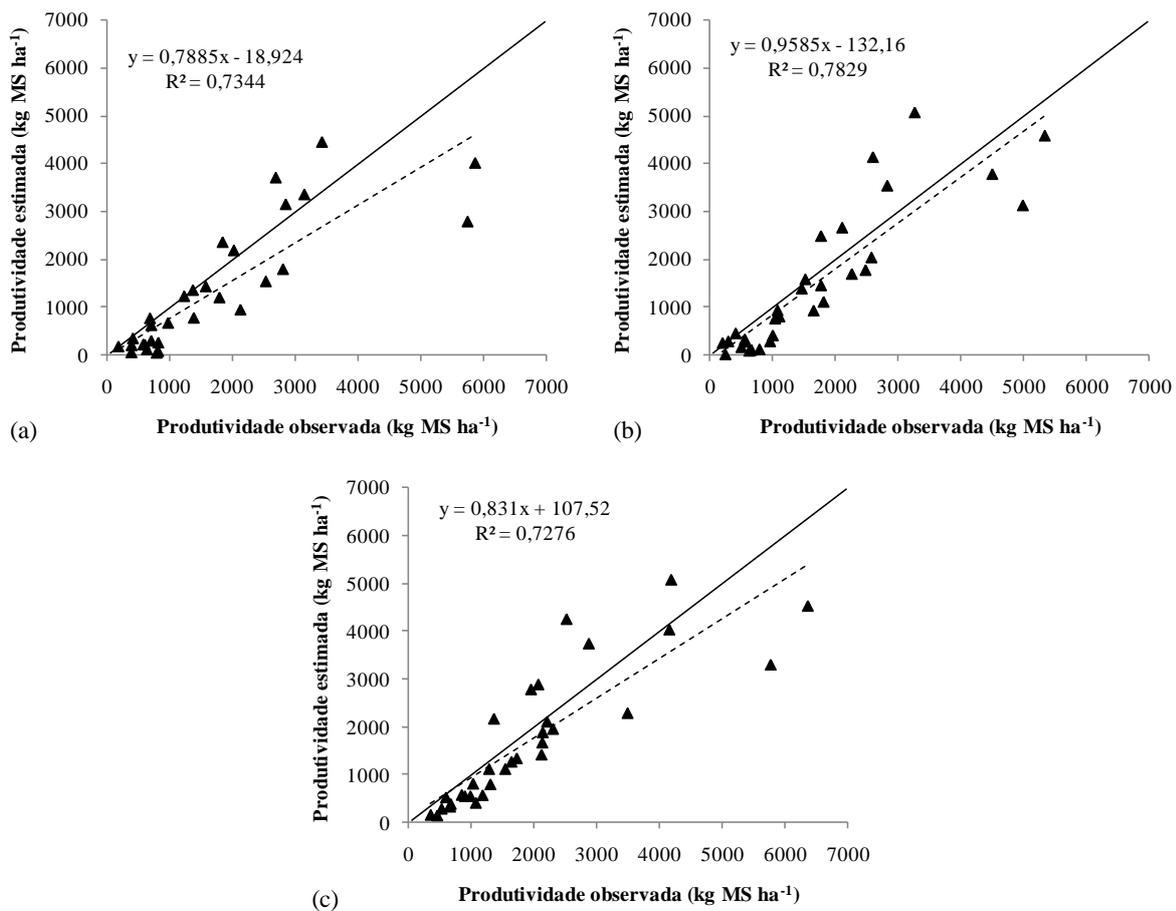


Figura 4.6 - Relação entre a produtividade potencial da *B. brizantha* observada e estimada pelo FAO-MZA, para as cultivares Marandú (a), Piatã (b) e Xaraés (c), na fase de teste do modelo

#### 4.3.3.2 Produtividade atingível

No caso das estimativas da PA, da mesma forma que para a PP, faz-se necessário quantificar o efeito da inserção de dados estimados de IAF sobre as estimativas de produtividade, pois a PA provém da penalização da PP pelo déficit hídrico e, dessa maneira, quando as estimativas da PP são afetadas, as da PA apresentarão a mesma tendência.

Para a cultivar Marandú, a comparação entre a produtividade estimada e a observada gerou subestimativa dos dados (Figura 4.7a), apresentando boa precisão ( $r = 0,80$  e  $R^2 = 0,65$ ),  $c$  de 0,68 (bom), exatidão regular ( $d = 0,85$  e  $EF = 0,50$ ), erros médios regulares ( $EM = -485,73 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EMR = -0,35$ ) e erros absolutos altos ( $EAM = 653,93 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EAMR = 0,48$ ) (Tabela 4.6).

A cultivar Piatã também apresentou subestimativa dos dados (Figura 4.7b), obtendo precisão regular ( $r = 0,75$  e  $R^2 = 0,56$ ), confiança mediana ( $c = 0,62$ ), exatidão regular ( $d = 0,83$  e  $EF = 0,46$ ), erros médios regulares ( $EM = -453,12 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EMR = -0,29$ ) e erros absolutos altos ( $EAM = 717,03 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EAMR = 0,45$ ).

As estimativas da PA para a cultivar Xaraés, foram menores do que os dados observados (Figura 4.7c), porém apresentando boa precisão, com  $r$  de 0,79 e  $R^2$  de 0,63; confiança boa, com  $c$  de 0,66; exatidão regular, com  $d$  de 0,83 e  $EF$  de 0,49; erros médios regulares ( $EM = -528,32 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EMR = -0,30$ ) e erros absolutos altos ( $EAM = 776,93 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EAMR = 0,44$ ).

Tabela 4.6 - Índices estatísticos e erros referentes à análise comparativa entre os dados de produtividade atingível, observados e estimados pelo FAO-MZA, para três cultivares de *B.brizantha*, na fase de teste do modelo. Sendo:  $r$  = coeficiente de correlação,  $R^2$  = coeficiente de determinação,  $c$  = índice de confiança,  $d$  = índice de concordância,  $EF$  = índice de eficiência da modelagem,  $EM$  = erro médio,  $EAM$  = erro absoluto médio,  $EMR$  = erro médio relativo e  $EAMR$  = erro absoluto médio relativo

Cultivar	$r$	$R^2$	$d$	$c$	$EF$	$EM \text{ (Kg ha}^{-1}\text{)}$	$EAM \text{ (Kg ha}^{-1}\text{)}$	$EMR$	$EAMR$
Marandú	0,80	0,65	0,84	0,68	0,50	-485,73	653,93	-0,35	0,48
Piatã	0,75	0,56	0,83	0,62	0,46	-453,12	717,03	-0,29	0,45
Xaraés	0,79	0,63	0,83	0,66	0,49	-528,32	776,93	-0,30	0,44

Observando esses dados, pode-se inferir que o modelo não foi eficiente em estimar a produtividade atingível dessas cultivares. Isso é consequência, provavelmente, das diferenças entre a pastagem irrigada e a não irrigada, discutidas no final do item 4.3.1.2. Com isso, pode-se afirmar que a calibração efetuada para a estimativa da produtividade potencial (sob irrigação) não pode ser aplicada às condições de sequeiro, necessitando-se de uma calibração específica, que leve em conta as características das plantas em cada condição. Para isso torna-se necessária a condução de experimentos que avaliem o sistema radicular, as relações fisiológicas, a dinâmica de crescimento, o perfilhamento e a diferenciação e altura do meristema apical das plantas.

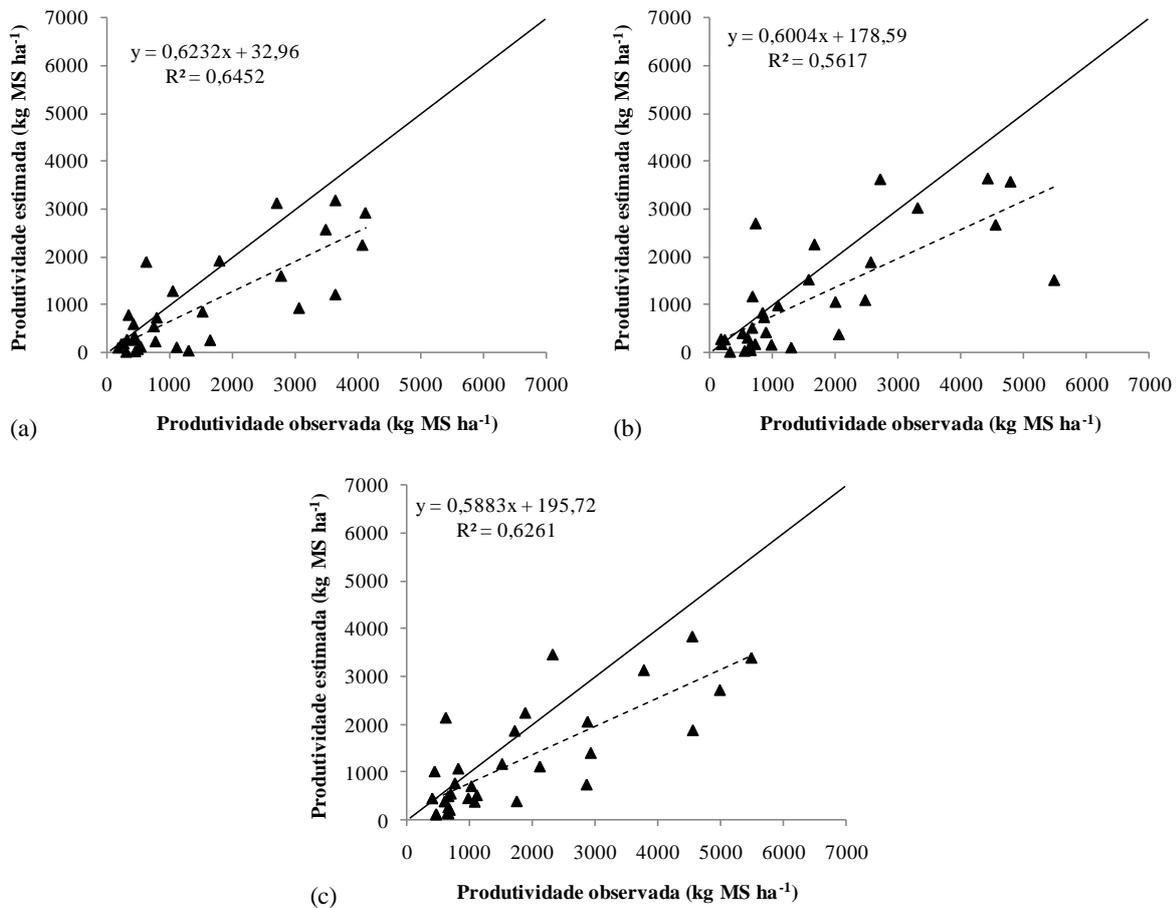


Figura 4.7 - Relação entre os dados de produtividade atingível de *B. brizantha* observados e estimados pelo FAO-MZA para as cultivares Marandú (a), Piatã (b) e Xaraés (c), na fase de teste do modelo

#### 4.3.4 Teste do modelo para a estimativa da produtividade potencial de *B. brizantha*

O teste do modelo calibrado foi feito com a intenção de confirmar a sua capacidade preditiva, pois, com a utilização de dados independentes, se houvessem erros nos dados de produtividade utilizados na calibração, eles seriam identificados nessa fase. O teste foi aplicado apenas para a estimativa da produtividade potencial, pois a produtividade atingível não foi eficientemente estimada como discutido no item 4.3.3.2.

Para a cultivar Marandú, as estimativas na fase de teste continuaram boas (Figura 4.8a), com boa precisão ( $r = 0,94$  e  $R^2$  de  $0,88$ ), ótima confiança ( $c = 0,87$ ), boa exatidão ( $d = 0,93$  e  $EF = 0,74$ ) e erros regulares ( $EM = -493,59$  kg ha<sup>-1</sup>;  $EMR = -0,23$ ;  $EAM = 505,01$  kg ha<sup>-1</sup> e  $EAMR = 0,24$ ) (Tabela 4.7).

Tabela 4.7 - Índices estatísticos e erros referentes à análise comparativa entre os dados de produtividade potencial, observados e estimados pelo FAO-MZA, para três cultivares de *B. brizantha*, na fase de teste do modelo. Sendo:  $r$  = coeficiente de correlação,  $R^2$  = coeficiente de determinação,  $c$  = índice de confiança,  $d$  = índice de concordância, EF = índice de eficiência da modelagem, EM = erro médio, EAM = erro absoluto médio, EMR = erro médio relativo e EAMR = erro absoluto médio relativo

Cultivar	$r$	$R^2$	$d$	$c$	EF	EM (Kg ha <sup>-1</sup> )	EAM (Kg ha <sup>-1</sup> )	EMR	EAMR
Marandú	0,94	0,88	0,93	0,87	0,74	-493,39	505,01	-0,23	0,24
Piatã	0,92	0,84	0,96	0,88	0,83	-95,68	419,75	-0,05	0,21
Xaraés	0,91	0,82	0,94	0,85	0,80	-241,24	568,97	-0,09	0,20

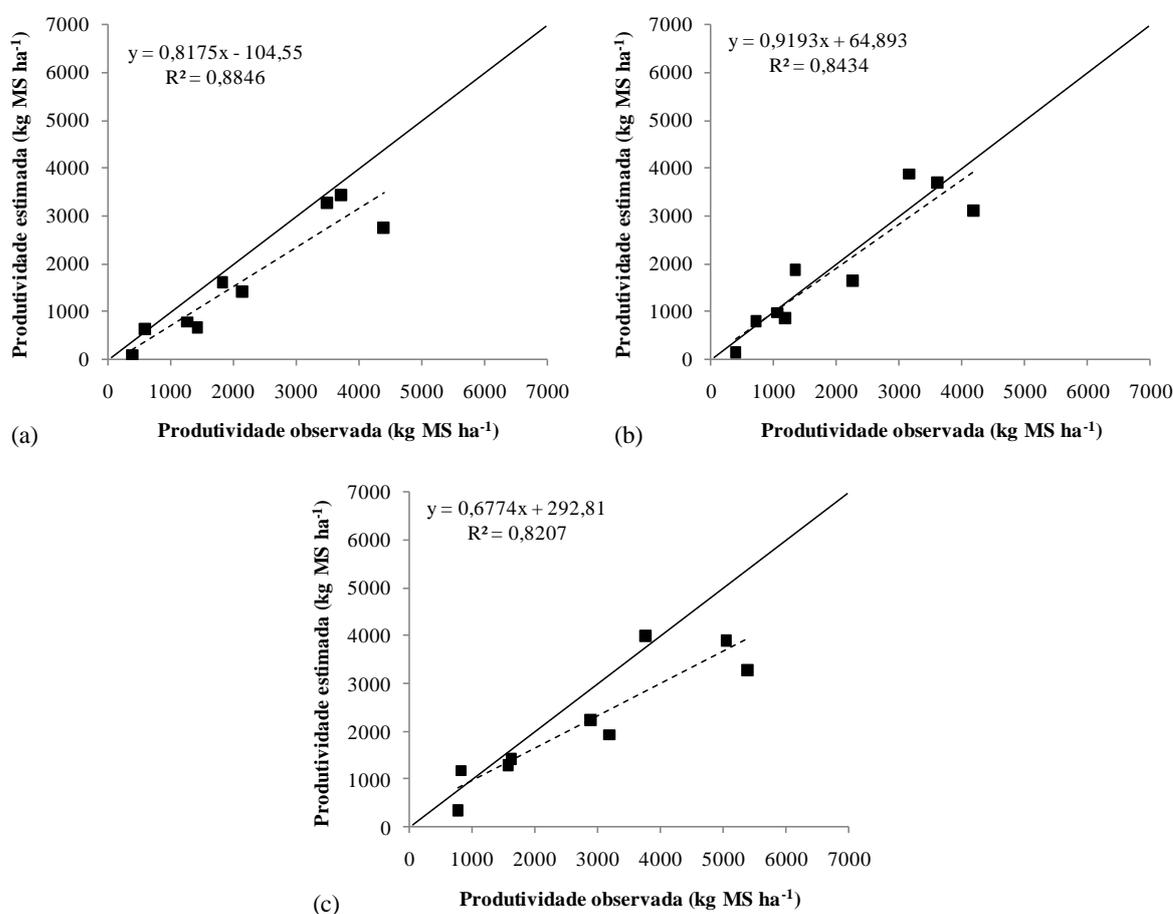


Figura 4.8 - Relação entre as produtividades potenciais observadas e estimadas pelo modelo FAO-MZA, para as cultivares de *B. brizantha*, Marandú (a), Piatã (b) e Xaraés (c); na fase de teste do modelo

Para a cultivar Piatã os resultados do teste se mostraram ainda melhores, sendo que neste caso se teve as melhores estimativas entre as três cultivares (Figura 4.8b). O desempenho do modelo em estimar a PP teve boa precisão ( $r = 0,92$  e  $R^2 = 0,84$ ), ótima confiança ( $c = 0,88$ ), boa exatidão ( $d = 0,96$  e EF = 0,83) e erros baixos (EM = -95,68 kg ha<sup>-1</sup>; EMR = -0,05; EAM = 419,75 kg ha<sup>-1</sup> e EAMR = 0,21).

Finalmente, para a cultivar Xaraés o desempenho do modelo foi o pior entre as três cultivares, porém ainda sendo muito bom (Figura 4.8c), tendo boa precisão ( $r = 0,91$  e  $R^2 = 0,82$ ), confiança ótima ( $c = 0,85$ ), boa exatidão ( $d = 0,94$  e  $EF = 0,80$ ), erros médios baixos ( $EM = -241,24 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EMR = 0,09$ ) e erros absolutos regulares ( $EAM = 568,97 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EAMR = 0,20$ ).

Essas análises demonstram que o modelo foi eficaz em estimar a produtividade potencial das três cultivares de *B. brizantha*, tendo a eficiência menor para a cultivar Xaraés. Os resultados só não foram melhores devido ao fato de no ciclo 8 ter ocorrido a diferenciação de meristemas apicais para o florescimento, provocando o estiolamento das plantas e a alocação de fotoassimilados para o aumento da massa de colmos, o que resultou na subestimativa dos dados pelo modelo.

No ciclo 7, por outro lado, ocorreram reduções importantes nos valores de radiação solar global e de acúmulo de GD (Figura 4.9), devido a períodos longos de nebulosidade, a exemplo do que ocorreu no experimento utilizado na calibração do modelo. Neste caso, o modelo foi eficaz em captar essa variação nas suas estimativas (Anexo K).

#### **4.3.5 Teste do modelo para *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril**

##### **4.3.5.1 Estimativa do IAF**

Com os dados de produtividade de dois ciclos em que praticamente não ocorreu deficiência hídrica, apenas se considerando o ponto de coleta dentro do SSP com maior aporte de radiação, admitidos como dados de produtividade potencial, pois em baixos níveis de sombreamento a pastagem mantém a produtividade em relação à condição de pleno sol, foi gerado um modelo de regressão linear entre o IAF medido e  $\Sigma GD$  (Figura 4.10a). Para a geração do modelo de estimativa do IAF a partir do acúmulo de GD foi considerada uma  $T_{bi}$  de  $16,7 \text{ }^\circ\text{C}$  (MENDONÇA; RASSINI, 2006). Assim, com esse modelo foram estimados os valores de IAF para todo o período experimental, os quais foram comparados com os valores observados (Figura 4.10b).

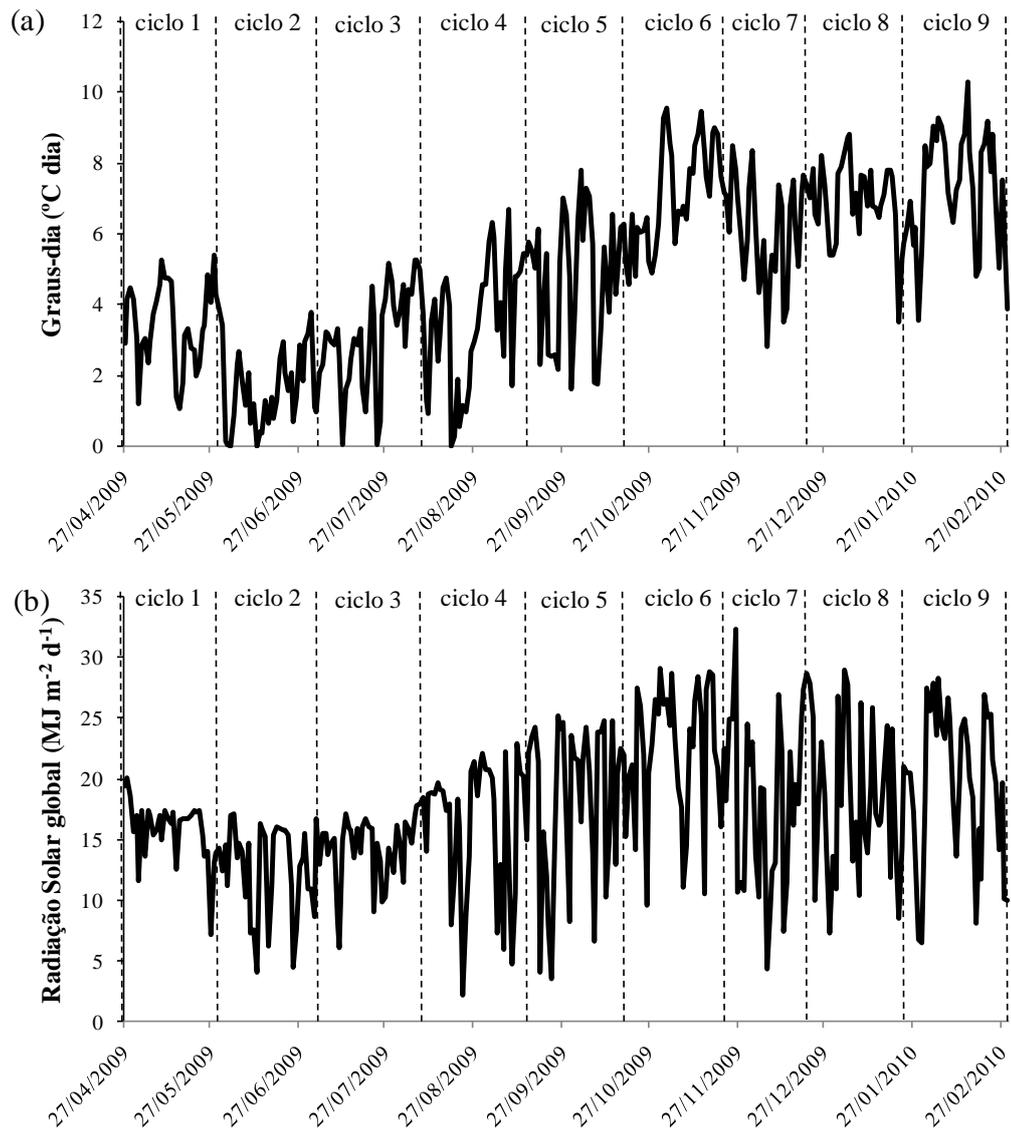


Figura 4.9 - Caracterização da dinâmica das condições ambientais durante o período experimental, utilizado para o teste do modelo: a) Graus-dia; b) Radiação solar global média

As estimativas geraram resultados com boa precisão ( $r = 0,95$  e  $R^2 = 0,90$ ), confiança ótima ( $c = 0,92$ ), boa exatidão ( $d = 0,97$  e  $EF = 0,90$ ) e erros baixos ( $EM = 0,01 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ ;  $EMR = 0,003$ ;  $EAM = 0,16 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$  e  $EAMR = 0,07$ ). Esses resultados, apesar de considerarem poucos dados comparativos, se mostram robustos e permitem admitir que a o modelo de estimativa de IAF a partir dos GD acumulados foi eficiente, o que também pode ser avaliado pela capacidade do modelo em estimar a produtividade atingível de *B. decumbens* em SSP, como será apresentado e discutido no item 4.3.5.2. Esses resultados corroboram os encontrados por Tonato et al. (2010) que observaram que a temperatura do ar, principalmente a temperatura mínima, se correlaciona bem com o crescimento da pastagem de *B. decumbens*.

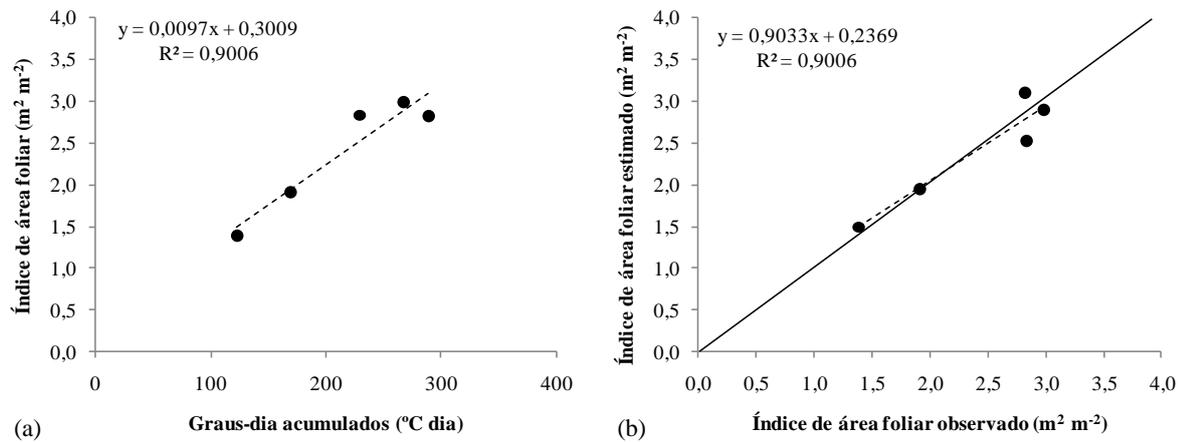


Figura 4.10 - Relação entre IAF para a condição potencial e o acúmulo de graus-dia para *B. decumbens* (a) e relação entre os dados de IAF observados e os estimados pela equação gerada para *B. decumbens* (b), baseada no acúmulo de graus-dia

#### 4.3.5.2 Estimativa da produtividade atingível

Nos sistemas silvipastoris (SSPs) normalmente ocorrem mudanças importantes no microclima, principalmente no que diz respeito à incidência de radiação solar na pastagem, influenciando a produtividade de forragem, como discutido no Capítulo 3. Assim, a eficácia dos modelos de estimativa da produtividade pode ser afetada, nessas condições, desde que não se leve em consideração esses aspectos espaço-temporais da variabilidade das condições micrometeorológicas. Desse modo, é essencial se testar as estimativas em diferentes condições dentro dos sistemas silvipastoris.

Nesse trabalho foram efetuados testes comparando a produtividade atingível observada em diferentes posições dentro do SSP com a estimada para os mesmos locais, a partir dos dados obtidos nas estações micrometeorológicas instaladas na área de estudo. As estimativas para a distância  $6m_L$ , que obteve o menor sombreamento (em torno de 25 % em todos os ciclos) foram boas (Figura 4.12a), alcançaram boa precisão ( $r = 0,94$  e  $R^2 = 0,89$ ), confiança muito boa ( $c = 0,91$ ), exatidão boa ( $d = 0,97$  e  $EF = 0,88$ ) e erros baixos ( $EM = -44,14 \text{ kg ha}^{-1}$ ;  $EMR = -0,11$ ;  $EAM = 100,19 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EAMR = 0,24$ ) (Tabela 4.8).

Para a posição  $6m_0$  (em torno de 30 % de sombreamento até o ciclo 4, e chegando a 40 % nas épocas seguintes), o desempenho do modelo em estimar a produtividade foi igualmente eficiente (Figura 4.12b), alcançando boa precisão ( $r = 0,95$  e  $R^2 = 0,90$ ), confiança muito boa ( $c = 0,91$ ), exatidão boa ( $d = 0,96$  e  $EF = 0,86$ ) e erros baixos ( $EM = -74,69 \text{ kg ha}^{-1}$ ;  $EMR = -0,18$ ;  $EAM = 99,17 \text{ kg ha}^{-1}$  e  $EAMR = 0,23$ ).

Tabela 4.8 - Índices estatísticos e erros referentes à análise comparativa entre os dados de produtividade atingível, observados e estimados pelo FAO-MZA, para *B.decumbens*, na fase de teste para aplicação em sistema silvipastoril, nas posições a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>), a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>). Sendo: r = coeficiente de correlação, R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação, c = índice de confiança, d = índice de concordância, EF = índice de eficiência da modelagem, EM = erro médio, EAM = erro absoluto médio, EMR = erro médio relativo e EAMR = erro absoluto médio relativo

Posição	r	R <sup>2</sup>	d	c	EF	EM (kg ha <sup>-1</sup> )	EAM (kg ha <sup>-1</sup> )	EMR	EAMR
6m <sub>L</sub>	0,94	0,89	0,97	0,91	0,88	-44,14	100,19	-0,11	0,24
6m <sub>O</sub>	0,95	0,90	0,96	0,91	0,86	-74,69	99,17	-0,18	0,23
2m <sub>O</sub>	0,91	0,83	0,92	0,84	0,69	-107,05	136,59	-0,29	0,37
2m <sub>L</sub>	0,89	0,79	0,83	0,74	0,54	-123,51	140,42	-0,35	0,40

Já nas posições sob as árvores observa-se uma maior dispersão dos dados, o que indica uma maior complexidade dos fatores que afetam a produtividade da pastagem sob as árvores. Na posição 2m<sub>O</sub> (com sombreamento chegando a 50 % até o ciclo 3 e até 65 % nos demais), a análise comparativa entre os dados estimados e observados demonstrou capacidade preditiva regular (Figura 4.12c), com boa precisão, com r de 0,91 e R<sup>2</sup> de 0,83; índice c de 0,84 (muito bom); boa exatidão, com d de 0,92 e EF de 0,69; e erros regulares (EM = -107,05 kg ha<sup>-1</sup>, EMR = -0,29, EAM = 136,59 kg ha<sup>-1</sup> e EAMR = 0,37). O mesmo padrão de desempenho do modelo de estimativa da produtividade foi observado na posição 2m<sub>L</sub> (com 65 a 70% de sombreamento até o ciclo 4 e 35 a 55% nos ciclos seguintes), a qual teve os piores resultados entre todas as posições avaliadas (Figura 4.12d). Apesar disso, as estimativas apresentaram boa precisão (r = 0,89 e R<sup>2</sup> = 0,79), confiança boa (c = 0,74), exatidão regular (d = 0,83 e EF = 0,54) e erros regulares (EM = -123,51 kg ha<sup>-1</sup>; EMR = -0,35; EAM = 140,42 kg ha<sup>-1</sup> e EAMR = 0,40).

Esses resultados demonstram que o modelo foi eficiente em estimar a produtividade atingível de *B. decumbens* em sistema silvipastoril, para as posições 6m<sub>L</sub> e 6m<sub>O</sub>, que possuíam maior incidência de radiação solar (Figura 4.11b). Entretanto, nas posições 2m<sub>O</sub> e 2m<sub>L</sub>, o modelo não foi capaz de gerar estimativas mais acuradas, já que não considera nos cálculos o efeito da plasticidade fenotípica dessa espécie em conservar a produtividade sob sombreamento. Isso indica que novas calibrações do modelo devem ser feitas para condições específicas de alto sombreamento, o que só pode ser realizado com o conhecimento aprofundado das mudanças que ocorrem nas plantas quando há déficit de luminosidade, evidenciando a importância da realização de estudos com esse enfoque.

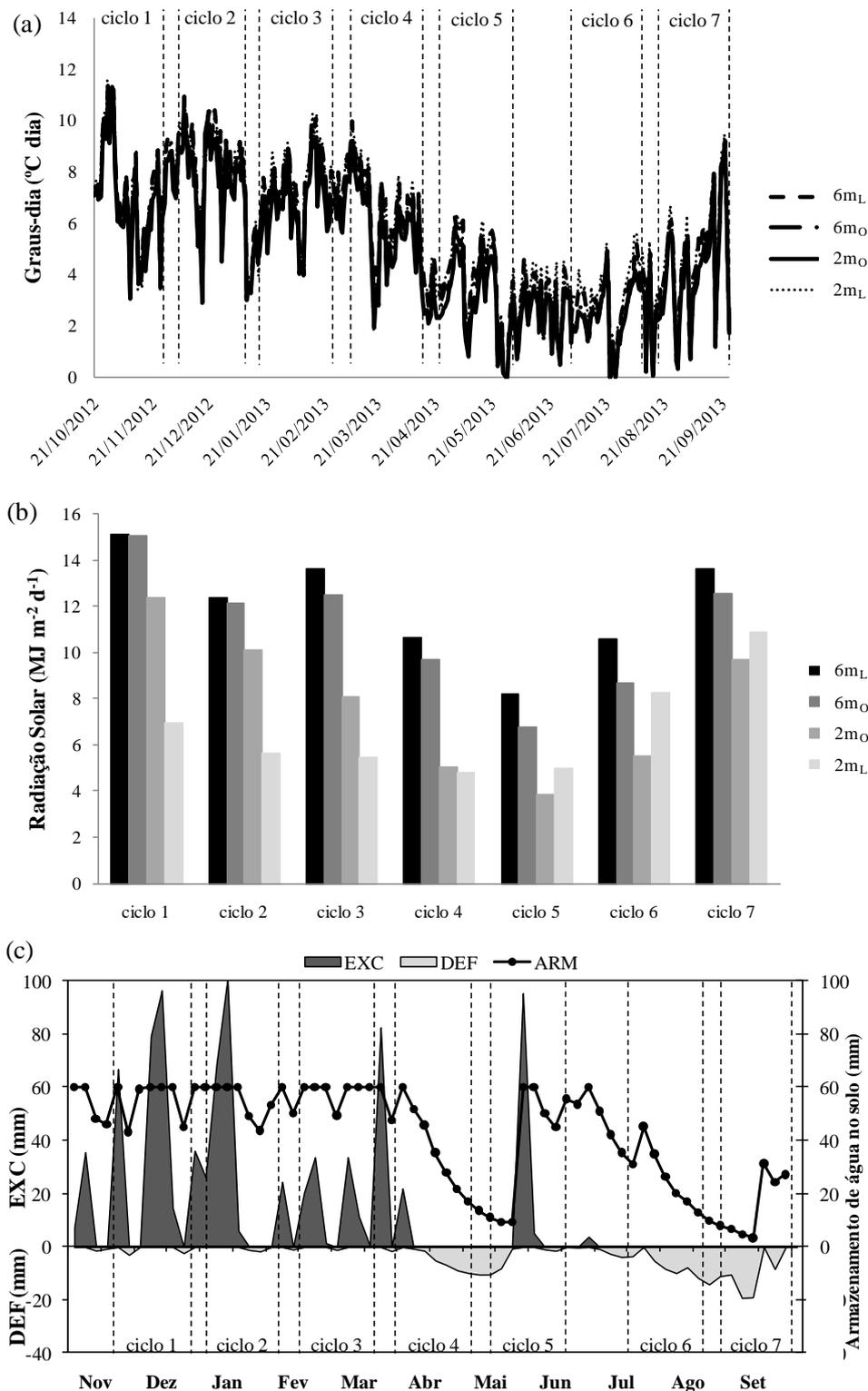


Figura 4.11 - Caracterização da dinâmica das condições ambientais durante o período experimental: a) Graus-dia; b) Radiação Solar global média; c) armazenamento de água no solo, deficiência hídrica e excedente hídrico, determinados pelo balanço hídrico sequencial para uma CAD = 60 mm, nas posições: a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>), a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>); utilizados para o teste do FAO-MZA em sistema silvipastoril, em São Carlos, SP

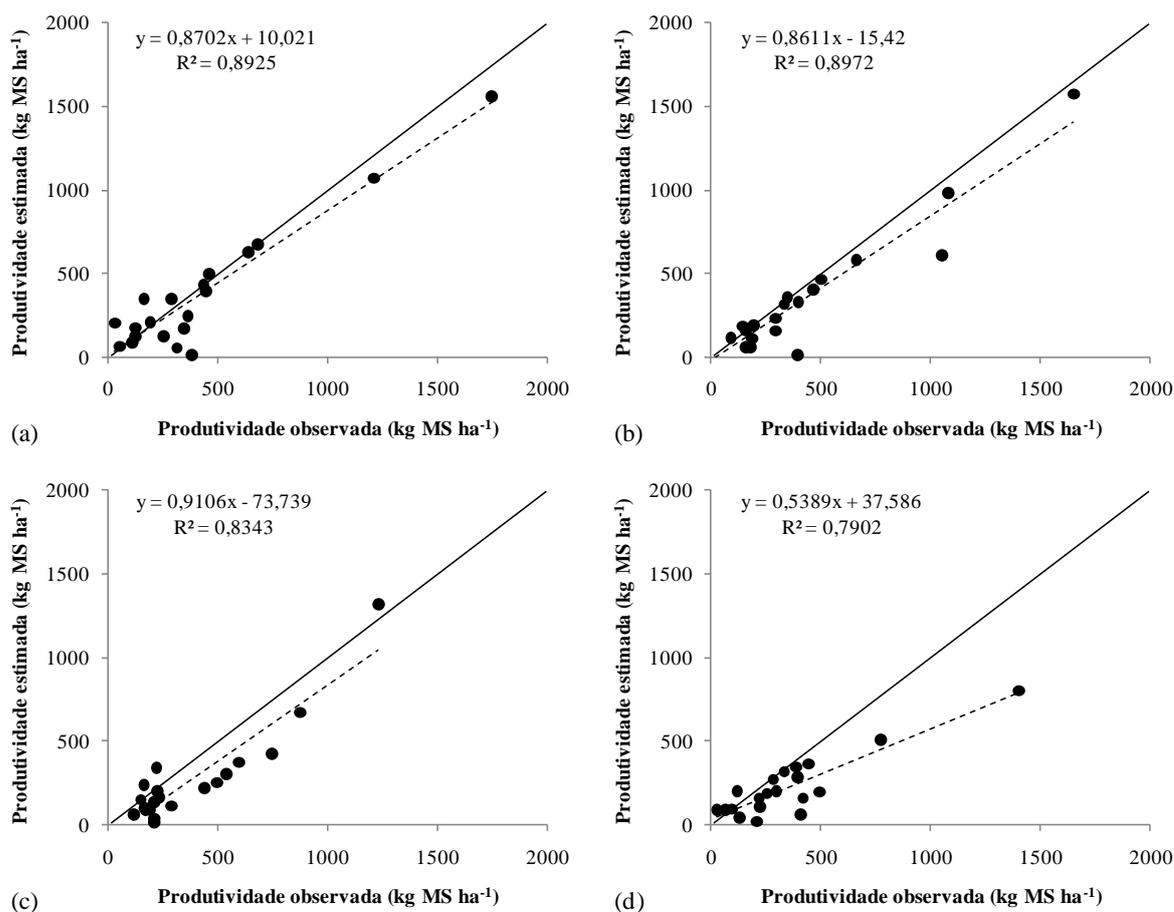


Figura 4.12 - Relação entre as produtividades atingíveis observadas e estimadas pelo modelo FAO-MZA, para *B. decumbens*, na fase de teste para aplicação em sistema silvipastoril, nas posições: (a) a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), (b) a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>), (c) a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e (d) a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>)

#### 4.4 Conclusões

O modelo foi eficiente em estimar a produtividade potencial das três cultivares de *B. brizantha*, porém, no ciclo 7, devido ao florescimento, as estimativas foram prejudicadas, pois o estiolamento das plantas provocou o aumento da alocação de fotoassimilados para o crescimento dos colmos, componente morfológico com maior razão massa seca/massa verde, o que aumentou a produção de MS de parte aérea. Além disso, a cultivar Piatã teve queda na produtividade no ciclo 8, porque a sua maior altura de meristema, aliada ao florescimento, causou a decepa dos meristemas apicais no corte de rebaixamento, criando a necessidade de crescimento de novos perfilhos, consumindo boa parte dos fotoassimilados.

A estimativa de produtividade atingível para *B. brizantha* não foi eficiente, pois nos ciclos 4, 5, e 6, os dados de produtividade no experimento irrigado foram menores do que no

não irrigado, o que não pôde ser explicado pelo modelo. As estimativas de IAF para condições sem restrição hídrica, utilizando-se o acúmulo de GD, foram eficazes tanto para *B. brizantha* como para *B. decumbens*, demonstrando a boa correlação entre o aumento da área foliar dessas espécies e a temperatura do ar.

O modelo foi eficiente em estimar a produtividade atingível de *B. decumbens* em sistema silvipastoril, para as posições que possuíam menor sombreamento. Entretanto, nas posições 2m<sub>0</sub> e 2m<sub>L</sub>, o modelo não foi eficaz, porque não considera nos seus cálculos o efeito da plasticidade fenotípica dessa espécie sob sombreamento. Com isso, há a necessidade de calibrações específicas para condições de alto sombreamento, geralmente acima de 50 %.

## Referências

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D., SMITH, M. **Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300p.( Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALMEIDA, A.C.S.; MINGOTI, R.; COELHO, R.D.; LOURENÇO, L.F. Simulação do crescimento do capim Tanzânia irrigado com base na unidade fototérmica, na adubação nitrogenada e na disponibilidade hídrica do período. **Acta Scientiarum: Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 215-222, 2011.
- ARAÚJO, L.C.; SANTOS, P.M.; RODRIGUEZ, D.; PEZZOPANE, J.R.M.; OLIVEIRA, P.P.A.; CRUZ, P.G. Simulating Guinea Grass production: empirical and mechanistic approaches. **Agronomy Journal**, Madison, v. 105, n. 1, p. 61-69, 2013.
- CAMARGO, A.P; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 5, p. 89-97, 1997.
- CRUZ, P.G. **Produção de forragem em *Brachiaria brizantha*: adaptação, geração e avaliação de modelos empíricos e mecanicistas para estimativa do acúmulo de forragem**. 2010. 102p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- CRUZ, P.G.; SANTOS, P.M.; ALTOÉ, J.; VALLE, C.B. Tolerância ao déficit hídrico em cultivares e/ou acesso de *Brachiaria brizantha* Stapf: alongamento foliar. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 46.,2009. Maringá. **Anais...** Maringá: UEM, 2009.1 CD-ROM.
- CRUZ, P.G.; SANTOS, P.M.; PEZZOPANE, J.R.M.; OLIVEIRA, P.P.A.; ARAÚJO, L.C. Modelos empíricos para estimar o acúmulo de matéria seca de capim-marandu com variáveis agrometeorológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 7, p. 675-681, 2011.

CUNHA, F.F.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C.; SEDIYAMA, G.C.; PEREIRA, O.G.; ABREU, F.V.S. Produtividade do capim tanzânia em diferentes níveis e freqüências de irrigação. **Acta Scientiarum**, Agronomy, v. 30, n. 1, p. 103-108, 2008.

DETOMINI, E.R.; COELHO, R.D.; MONTEIRO, R.O.C. Avaliação da produção de *Panicum maximum* cv. Tanzânia sob diferentes níveis de oferta ambiental. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 27, n. 2, p. 26-37 2005.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water**: FAO Irrigation and drainage paper Nº 33, Rome: FAO, 1979. 193p.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1975. 179p.( FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

FITZPATRICK, E.A; NIX, H.A. The Climatic Factor in Australian Grassland Ecology. In: MOORE, R. M. (Ed.) **Australian Grasslands**. Canberra: Australian National University Press, 1973, cap. 1, p. 3-36.

GIRALDO, L.M.; LIZCANO, L.J.; GIJSMAN, A.J.; RIVERA, B.; FRANCOL, H. Adaptación del modelo DSSAT para simular la producción de *Brachiaria decumbens*. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 20, n. 2, p. 2-12, 1998.

HUTH, N.I.; CARBERRY, P.S.; POULTON, P.L.; BRENNAN, L.E.; KEATING, B.A. A framework for simulating agroforestry options for the low rainfall areas of Australia using APSIM. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 18, p. 171-185, 2003.

LARA, M.A.S.; PEDREIRA, C.G.S.; BOOTE, K.J.; PEDREIRA, B.C.; MORENO, L.S.B.; ALDERMAN, P.D. Predicting Growth of *Panicum Maximum*: An adaptation of the CROPGRO-Perennial Forage Model. **Agronomy Journal**, Madison, v. 104, n. 3, p. 600-611, 2012.

MENDONÇA, F.C.; RASSINI, J.B. **Temperatura-base inferior e estacionalidade de produção de gramíneas forrageiras tropicais**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2006. 9p. (Circular técnica 45)

MONTEIRO, L.A.; SENTELHAS, P.C. Potential and actual sugarcane yields in southern Brazil as a function of climate conditions and crop management. **Sugar Tech**. Amsterdam, 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12355-013-0275-0>>. Acesso em:2 de nov. de 2013.

MOTA, F.S.; BERNY, Z.B.; MOTA, J.F.A.S. Índice climático de crescimento de pastagens naturais no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 4, p. 453-472, 1981.

NABINGER, C. Princípios da exploração intensiva de pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 14., 1997. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1997. p. 213-251.

NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.10, n.3, p. 282–290, 1970.

PEDREIRA, B.C. **Capim Xaraés sob pastejo: respostas agronômicas e morfofisiológicas, e adaptação do modelo CROPGRO para a predição de crescimento.** 2009. 111p. Tese (Doutorado em Ciência Animal e Pastagens) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

PEDREIRA, B.C.; PEDREIRA, C.G.S.; BOOTE, K.J.; LARA, M.A.S.; ALDERMAN, P.D. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of *Brachiaria brizantha*. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 120, p. 370-379, 2011.

PEDRO JUNIOR, M.J. Índices climáticos de crescimento para gramíneas forrageiras no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.54, n.2, p. 427-435, 1995.

PEREIRA, A.R. Mathematical Modelling. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 31, p. 217-218, 1984. (Editorial)

PEREIRA, A.R.; ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Porto Alegre: Guaíba Agropecuária, 2002. 478p.

PEZZOPANE, J.R.M.; SANTOS, P.M.; MENDONÇA, F.C; ARAÚJO, L.C.; CRUZ, P.G. Dry matter production of Tanzânia grass as a function of agrometeorological variables. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 471-477, 2012.

SANTOS, P.M.; CRUZ, P.G.; ARAÚJO, L.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; VALLE, C.B.; PEZZOPANE, C.G. Response mechanisms of *Brachiaria brizantha* cultivars to water deficit stress. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 42, n. 11, p. 767-773, 2013.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance.** Centerton: Laboratory of Climatology, 1955. 104p.

TONATO, F.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.S.; DANTAS, O.D.; MALAQUIAS, J.V. Desenvolvimento de modelos preditores de acúmulo de forragem em pastagens tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 522-529, 2010.

VILLA NOVA, N.A.; CARRETERO, M.V.; SCADUA, R. Um modelo de avaliação do crescimento de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em termos da ação combinada do fotoperíodo e da temperatura média do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1983. Campinas. **Anais...** Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1983. p.31-48.

VILLA NOVA, N.A.; BARIONI, L.G.; PEDREIRA, C.G.S.; PEREIRA, A.R. Modelo para previsão da produtividade de capim elefante em função da temperatura do ar, fotoperíodo e frequência de desfolha. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 75-79, 1999.

VILLA NOVA, N.A.; DETOMINI, E.R.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P.A.; PEDREIRA, C.G.S. Modelo de estimativa da produtividade de fitomassa seca de parte aérea de *Cynodon nlemfuënsis* Vanderyst var. nlemfuënsis cv. Florico em função da radiação solar. **Pasturas Tropicales**, Cali, v. 26, n. 3, p. 56-61, 2004

VILLA NOVA, N.A.; DETOMINI, E.R.; DOURADO NETO, D.; PILAU, F.G.; PEDREIRA, C.G.S. Avaliação da produtividade potencial de *Brachiaria ruziziensis* em função de unidades fototérmicas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 3, p. 443-449, 2005.

VILLEGAS, J.R.; HERNÁNDEZ, V.A.G.; SALAZAR, J.A.C.; MUÑOS, M.L.; CASTILLO, F.S.D; ENCISO, T.O. Modelos empíricos del crecimiento y rendimiento de tomate podado a tres racimos. **Revista Fitotecnia Mexicana**, Chapingo, v. 27, n. 1, p. 63-67, 2004.

WILMOTT, C.J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DONNELL, J; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Otawwa, v. 90, n. 5, p. 8995-9005, 1985.



**ANEXOS**



ANEXO A - Variáveis meteorológicas médias observadas nas quatro estações do ano, nas diferentes posições no SSP: a pleno sol (PS), a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>), a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), em São Carlos, SP

Posição	Estação do ano			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
<b>Radiação solar global (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)</b>				
PS	20,15 Aa*	17,08 Ab	12,66 Ad	15,00 Ac
6m <sub>L</sub>	15,42 Ba	12,96 Bb	9,59 Bd	11,37 Bc
6m <sub>O</sub>	15,01 Ba	12,48 Bb	8,33 Cd	9,95 Cc
2m <sub>O</sub>	12,49 Ca	9,32 Cb	4,55 Dd	6,98 Ec
2m <sub>L</sub>	7,42 Da	5,47 Db	5,09 Db	8,99 Da
<b>Velocidade média do vento (m s<sup>-1</sup>)</b>				
PS	0,88 Aa	0,74 Ab	0,54 Ad	0,60 Ac
6m <sub>L</sub>	0,63 Ba	0,59 Bab	0,52 Ab	0,65 Aa
6m <sub>O</sub>	0,61 Ba	0,58 Bab	0,52 Ab	0,64 Aa
2m <sub>O</sub>	0,60 Ba	0,57 Bab	0,50 Ab	0,62 Aa
2m <sub>L</sub>	0,61 Ba	0,57 Bab	0,50 Ab	0,63 Aa
<b>Rajada máxima (m s<sup>-1</sup>)</b>				
PS	6,40 Aa	6,15 Aa	4,98 Ac	5,69 Ab
6m <sub>L</sub>	4,29 Ca	4,29 Ca	3,51 Cb	4,08 Ba
6m <sub>O</sub>	4,72 Ba	4,71 Ba	3,92 Bb	4,40 Ba
2m <sub>O</sub>	4,26 Ca	4,15 Ca	3,58 BCb	4,15 Ba
2m <sub>L</sub>	3,92 Da	3,99 Ca	3,17 Db	3,77 Ca
<b>Fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>)</b>				
PS	0,19 Ca	-0,13 Db	-0,28 BCc	-0,17 Bbc
6m <sub>L</sub>	0,40 Ba	0,06 Bb	-0,31 Cd	-0,19 Bc
6m <sub>O</sub>	0,52 Aa	0,20 Ab	-0,25 Bd	-0,05 Ac
2m <sub>O</sub>	0,20 Ca	-0,06 Cb	-0,27 BCc	-0,13 Bb
2m <sub>L</sub>	0,14 Ca	-0,08 CDb	-0,10 Ab	-0,05 Ab

\* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

ANEXO B - Variáveis meteorológicas médias observadas nas quatro estações do ano, nas diferentes posições no SSP: a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>), a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), em São Carlos, SP

Posição	Estação do ano			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
<b>Temperatura média do ar (°C)</b>				
6m <sub>L</sub>	23,00 Aa*	22,42 Aa	18,86 Ab	17,32 ABc
6m <sub>O</sub>	23,01 Aa	22,38 Aa	18,80 Ab	17,29 Ac
2m <sub>O</sub>	23,00 Aa	22,32 Aa	18,76 Ab	17,30 Ac
2m <sub>L</sub>	22,95 Aa	22,32 Aa	18,85 Ab	17,33 Ac
<b>Temperatura máxima do ar (°C)</b>				
6m <sub>L</sub>	31,45 Aa	30,42 Aa	26,93 Ab	26,71 Ab
6m <sub>O</sub>	31,30 Aa	30,10 ABb	26,13 Bc	25,88 Bc
2m <sub>O</sub>	30,21 Ba	28,91 Cb	25,10 Cc	25,44 Cc
2m <sub>L</sub>	31,09 Aa	29,89 Bb	26,88 Ac	27,14 Ac
<b>Temperatura mínima do ar (°C)</b>				
6m <sub>L</sub>	17,42 Aa	17,96 Aa	13,96 Ab	11,09 Ac
6m <sub>O</sub>	17,42 Aa	17,89 Aa	13,99 Ab	11,18 Ac
2m <sub>O</sub>	17,54 Aa	17,99 Aa	14,08 Ab	11,18 Ac
2m <sub>L</sub>	17,58 Aa	18,09 Aa	14,08 Ab	11,06 Ac
<b>Temperatura média do solo (°C)</b>				
6m <sub>L</sub>	24,52 Ba	24,80 Aa	20,26 Ab	18,04 ABc
6m <sub>O</sub>	25,09 Aa	25,11 Aa	20,30 Ab	18,07 ABc
2m <sub>O</sub>	24,05 Ba	23,99 Ba	19,69 Bb	17,57 Bc
2m <sub>L</sub>	23,17 Ca	23,28 Ca	20,43 Ab	18,48 Ac
<b>Temperatura máxima do solo (°C)</b>				
6m <sub>L</sub>	27,83 Ba	27,84 Ba	22,60 Cb	21,11 Bc
6m <sub>O</sub>	30,20 Aa	28,79 Ab	23,81 Ac	22,65 Ad
2m <sub>O</sub>	27,20 Ca	26,11 Cb	21,02 Dc	19,22 Cd
2m <sub>L</sub>	26,09 Da	26,13 Ca	23,23 Bb	21,46 Bc
<b>Temperatura mínima do solo (°C)</b>				
6m <sub>L</sub>	22,28 Ab	22,86 Aa	18,71 ABc	16,04 Bd
6m <sub>O</sub>	22,06 Ab	22,82 ABa	18,26 Bc	15,37 Cd
2m <sub>O</sub>	21,69 Bb	22,34 Ba	18,53 ABc	16,13 ABd
2m <sub>L</sub>	21,49 Ba	21,79 Ca	18,83 Ab	16,62 Ac

\* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

ANEXO C - Variáveis meteorológicas médias observadas nas quatro estações do ano, nas diferentes posições no SSP: a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>), a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), em São Carlos, SP

Posição	Estação do ano			
	Primavera	Verão	Outono	Inverno
<b>Umidade relativa do ar média (%)</b>				
6m <sub>L</sub>	75,36 ABb*	81,52 Aa	80,26 Aa	72,82 ABb
6m <sub>O</sub>	74,24 Cb	80,91 Aa	79,55 Aa	71,48 Cb
2m <sub>O</sub>	74,49 BCb	81,34 Aa	79,95 Aa	71,96 BCb
2m <sub>L</sub>	75,65 Ab	81,90 Aa	80,55 Aa	73,35 Ab
<b>Umidade relativa do ar máxima (%)</b>				
6m <sub>L</sub>	93,74 ABbc	94,89 Bab	95,20 Ba	92,66 ABc
6m <sub>O</sub>	94,56 Ab	96,22 Aa	96,66 Aa	92,93 Ac
2m <sub>O</sub>	93,33 Bb	94,84 Ba	94,70 Ca	91,69 Bc
2m <sub>L</sub>	93,81 ABbc	94,86 Bab	95,22 Ba	92,97 Ac
<b>Umidade relativa do ar mínima (%)</b>				
6m <sub>L</sub>	42,43 Bbc	49,46 Ca	47,66 Bab	38,47 Bc
6m <sub>O</sub>	41,34 Cbc	48,19 Da	46,44 Cab	37,48 Bc
2m <sub>O</sub>	44,50 Ab	52,80 Aa	51,43 Aa	40,23 Ab
2m <sub>L</sub>	43,53 Ab	51,24 Ba	48,18 Ba	38,30 Bb
<b>Déficit de pressão de vapor (KPa)</b>				
6m <sub>L</sub>	0,71 Aa	0,51 Abc	0,43 Ac	0,56 Ab
6m <sub>O</sub>	0,75 Aa	0,53 Abc	0,45 Ac	0,59 Ab
2m <sub>O</sub>	0,74 Aa	0,51 Abc	0,44 Ac	0,58 Ab
2m <sub>L</sub>	0,70 Aa	0,50 Abc	0,43 Ac	0,55 Ab
<b>Pressão atual de vapor (KPa)</b>				
6m <sub>L</sub>	2,11 Ab	2,21 Aa	1,76 Ac	1,44 Ad
6m <sub>O</sub>	2,08 Ab	2,19 Aa	1,74 Ac	1,41 Ad
2m <sub>O</sub>	2,09 Ab	2,19 Aa	1,74 Ac	1,42 Ad
2m <sub>L</sub>	2,11 Ab	2,21 Aa	1,77 Ac	1,45 Ad

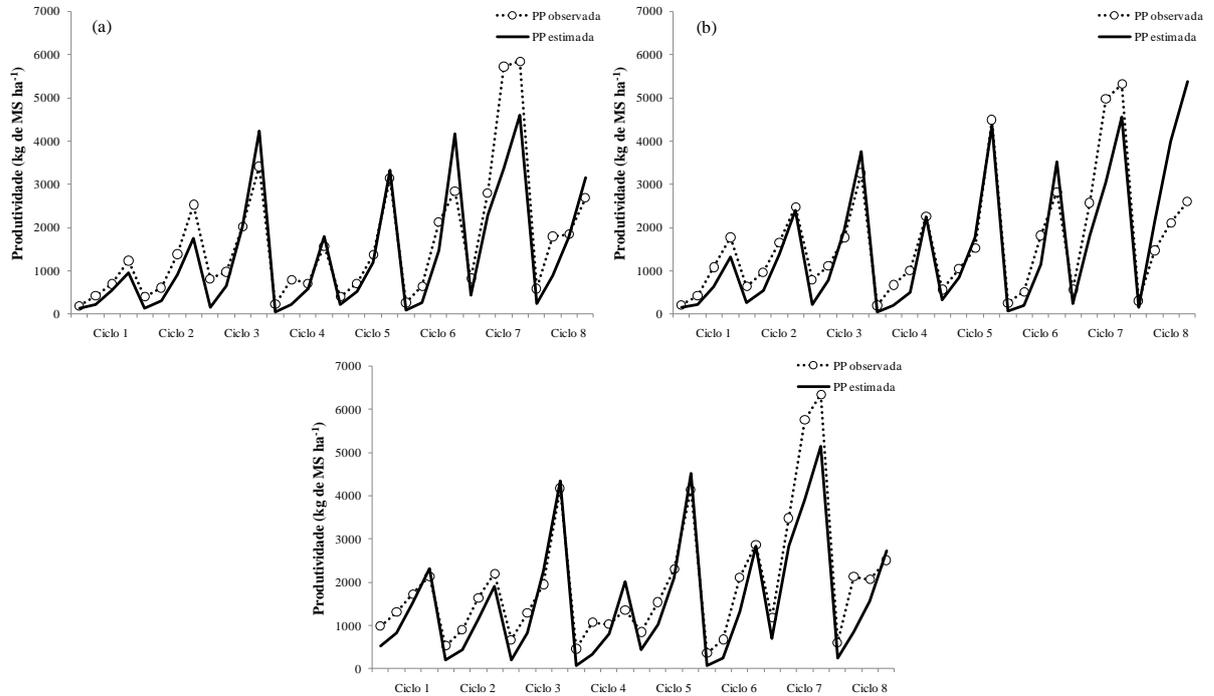
\* Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

ANEXO D – Produtividade de forragem e características biométricas médias de *B. decumbens* observadas nos ciclos de crescimento, com duração de 35 dias, nas diferentes posições no SSP: a 6 metros do renque leste (6m<sub>L</sub>), a 6 metros do renque oeste (6m<sub>O</sub>), a 2 metros do renque oeste (2m<sub>O</sub>) e a 2 metros do renque leste (2m<sub>L</sub>), em São Carlos, SP

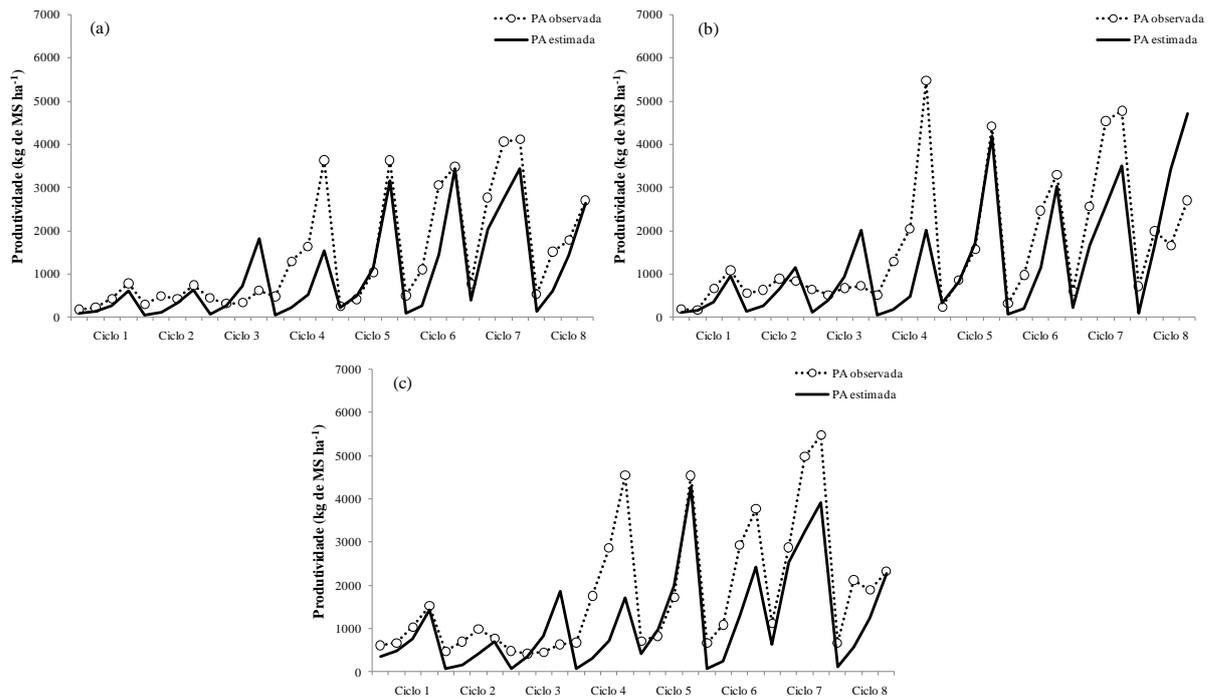
Época	Posição			
	6m <sub>L</sub>	6m <sub>O</sub>	2m <sub>O</sub>	2m <sub>L</sub>
<b>Produtividade de matéria seca (kg de MS ha<sup>-1</sup>)</b>				
Ciclo 1	1745,0 Aa*	1650,0 ABa	1227,8 Ba	1401,8 ABa
Ciclo 2	1501,5 Aa	1009,9 Bb	761,7 Bab	239,1 Cb
Ciclo 3	1208,3 Aab	1080,5 Aab	870,6 Aab	771,7 Ab
Ciclo 4	638,0 Abc	663,3 Abc	596,8 Ab	444,0 Ab
Ciclo 5	288,7 Ac	334,6 Ac	166,6 Ab	284,7 Ab
Ciclo 6	233,9 Ac	209,3 Ac	231,9 Ab	497,2 Ab
Ciclo 7	433,9 Ac	464,1 Ac	220,0 Ab	386,0 Ab
<b>Índice de área foliar (m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>)</b>				
Ciclo 1	2,82 Aab	2,36 Aa	2,26 Aa	2,76 Aa
Ciclo 2	3,43 Aa	2,89 ABa	2,48 Ba	2,26 Bab
Ciclo 3	2,98 Aa	2,46 ABa	1,85 BCab	1,37 Cbc
Ciclo 4	1,87 Abc	1,97 Aab	1,58 Aabc	1,43 Abc
Ciclo 5	0,77 Ad	0,80 Ac	0,59 Acd	0,69 Ac
Ciclo 6	0,98 Acd	1,16 Abc	0,95 Abcd	1,13 Ac
Ciclo 7	0,37 Ad	0,39 Ac	0,29 Ad	0,46 Ac
<b>Altura de plantas (m)</b>				
Ciclo 1	0,36 Bb	0,30 Cbcd	0,37 Bbc	0,43 Ac
Ciclo 2	0,51 Ba	0,47 Ba	0,49 Ba	0,57 Aa
Ciclo 3	0,46 ABa	0,41 Ba	0,47 Aa	0,49 Ab
Ciclo 4	0,34 Bb	0,34 Bb	0,39 Ab	0,40 Acd
Ciclo 5	0,26 Ac	0,27 Acd	0,26 Ad	0,30 Ade
Ciclo 6	0,31 Abc	0,32 Abc	0,32 Ac	0,35 Ad
Ciclo 7	0,25 Ac	0,25 Ad	0,25 Ad	0,27 Ae
<b>Área foliar específica (m<sup>2</sup> kg<sup>-1</sup>)</b>				
Ciclo 1	24,6 ABbcd	22,8 Bbc	25,0 ABb	29,0 Abc
Ciclo 2	27,7 Babc	26,6 Babc	28,8 Bab	34,1 Aab
Ciclo 3	31,8 ABa	31,7 ABa	30,6 Ba	36,6 Aa
Ciclo 4	28,5 Aab	27,9 Aab	30,2 Aab	29,7 Abc
Ciclo 5	23,6 Abcd	25,5 Abc	25,8 Aab	26,8 Acd
Ciclo 6	20,5 Ad	21,5 Ac	25,5 Aab	22,4 Ad
Ciclo 7	15,8 Ae	15,4 Ad	16,3 Ac	18,3 Ae

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

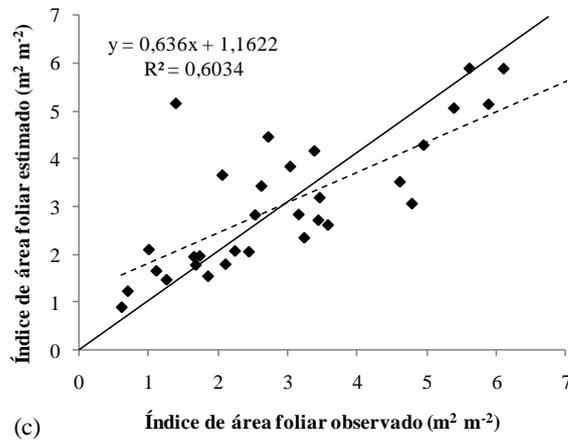
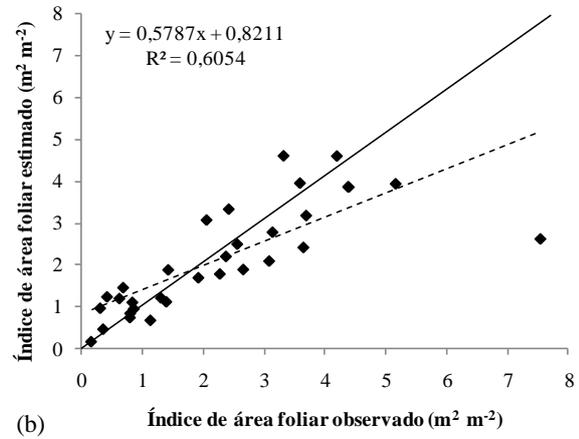
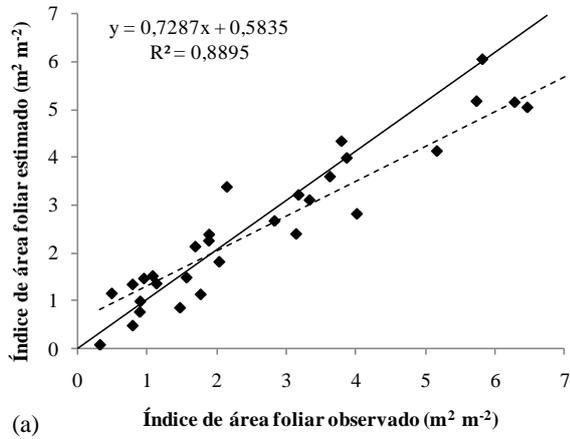
ANEXO E – Produtividade potencial de forragem observada e estimada pelo modelo FAO-MZA, na fase de calibração do modelo, nos oito ciclos de crescimento, para as cultivares de *B. brizantha*, Marandú (a), Piatã (b) e Xaraés (c), cultivadas a pleno sol, em São Carlos, SP



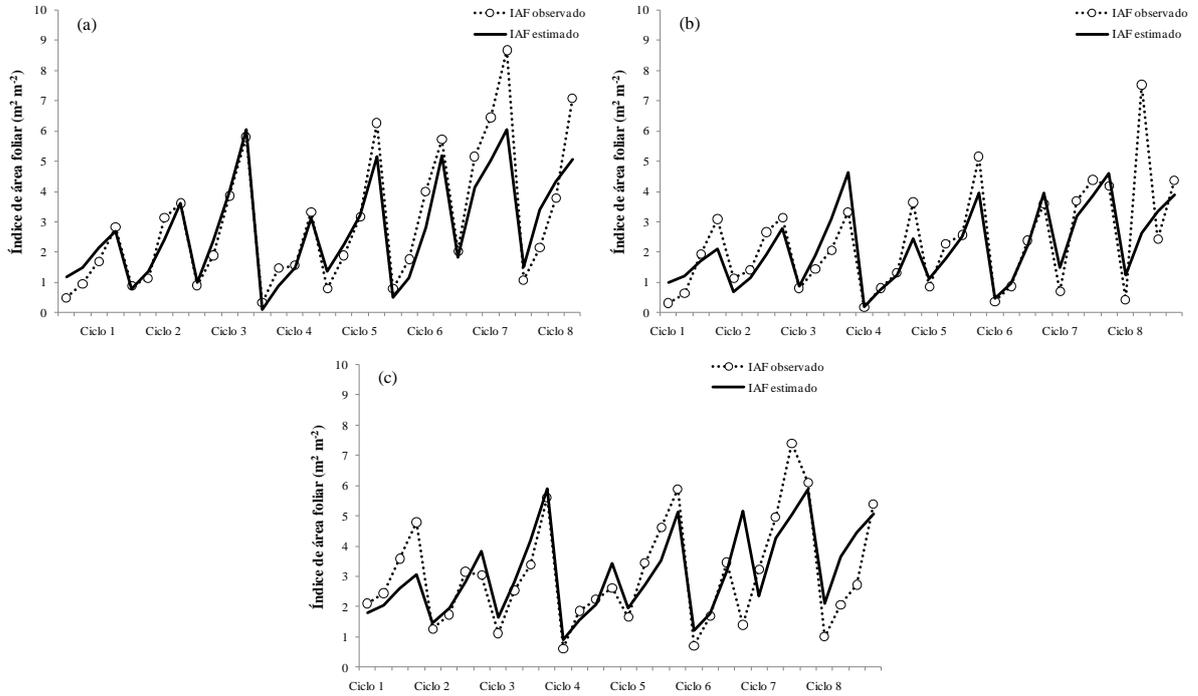
ANEXO F – Produtividade atingível de forragem observada e estimada pelo modelo FAO-MZA, na fase de calibração do modelo, nos oito ciclos de crescimento; para as cultivares de *B. brizantha*, Marandú (a), Piatã (b) e Xaraés (c), cultivadas a pleno sol, em São Carlos, SP



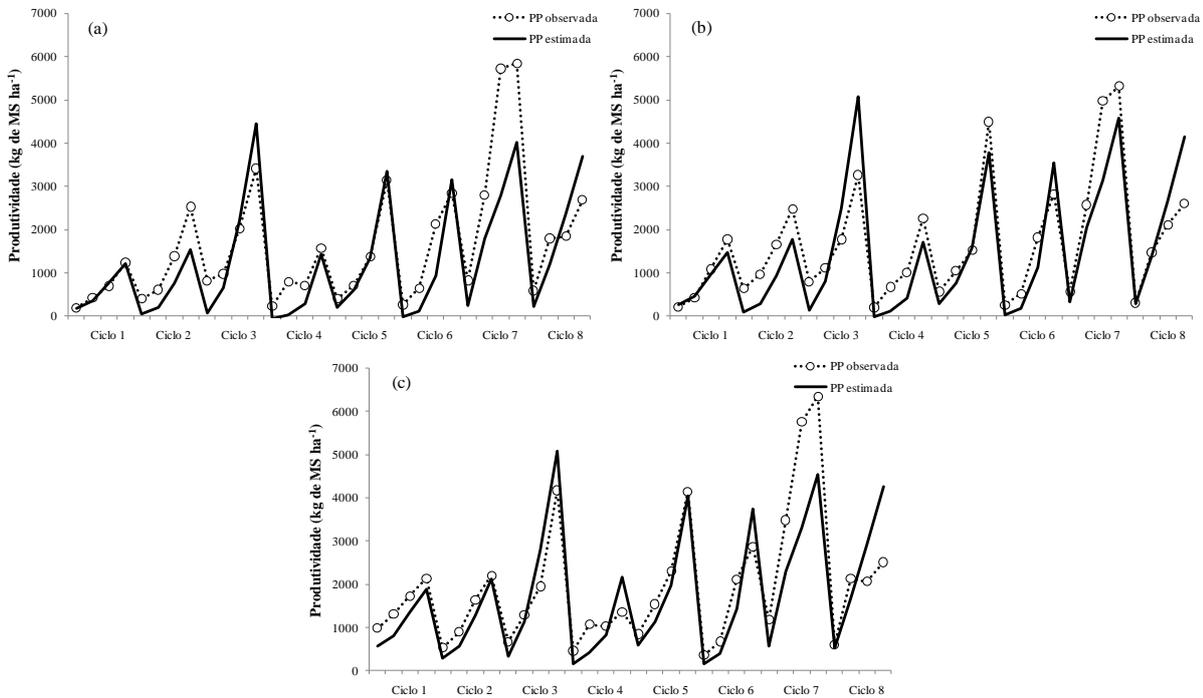
ANEXO G – Relação entre o IAF observado em condições de pleno sol e com irrigação, e estimados com base no acúmulo de graus-dia, para as cultivares de *B. brizantha*, Marandú (a), Piatã (b) e Xaraés (c), em São Carlos, SP.



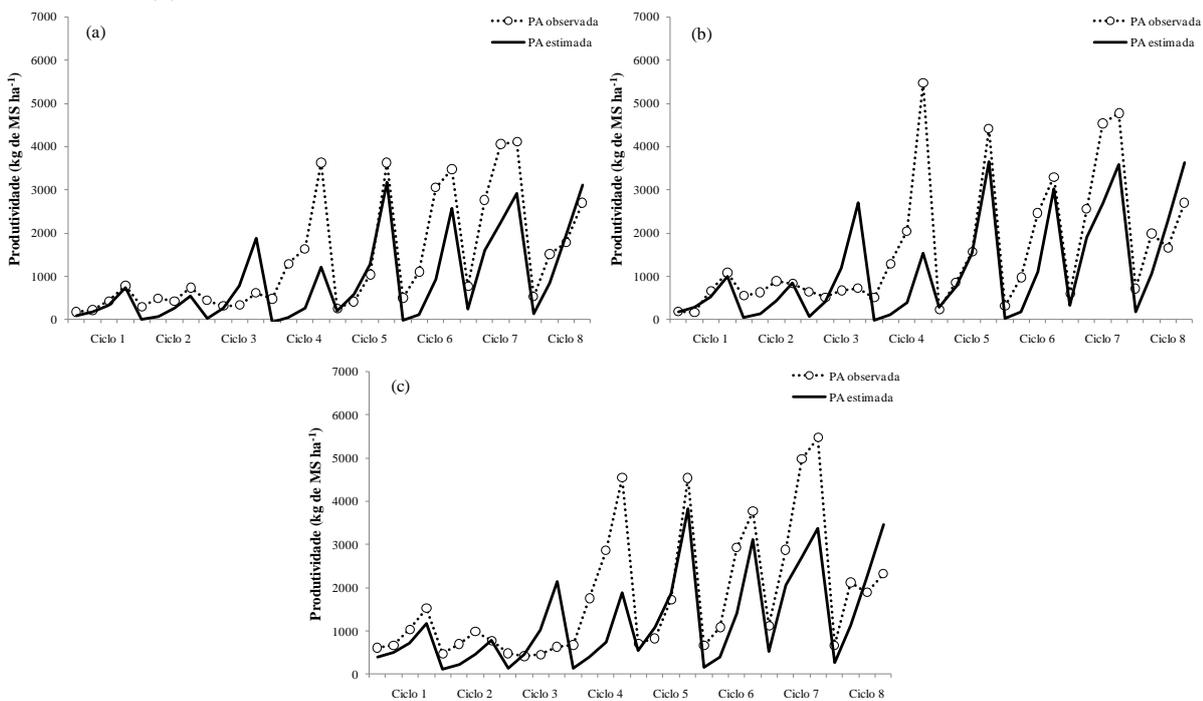
ANEXO H – Índice de área foliar observado, em condições de pleno sol e com irrigação, e estimado com base no acúmulo de graus-dia, para as cultivares de *B. brizantha*, Marandú (a), Piatã (b) e Xaraés (c), em São Carlos, SP



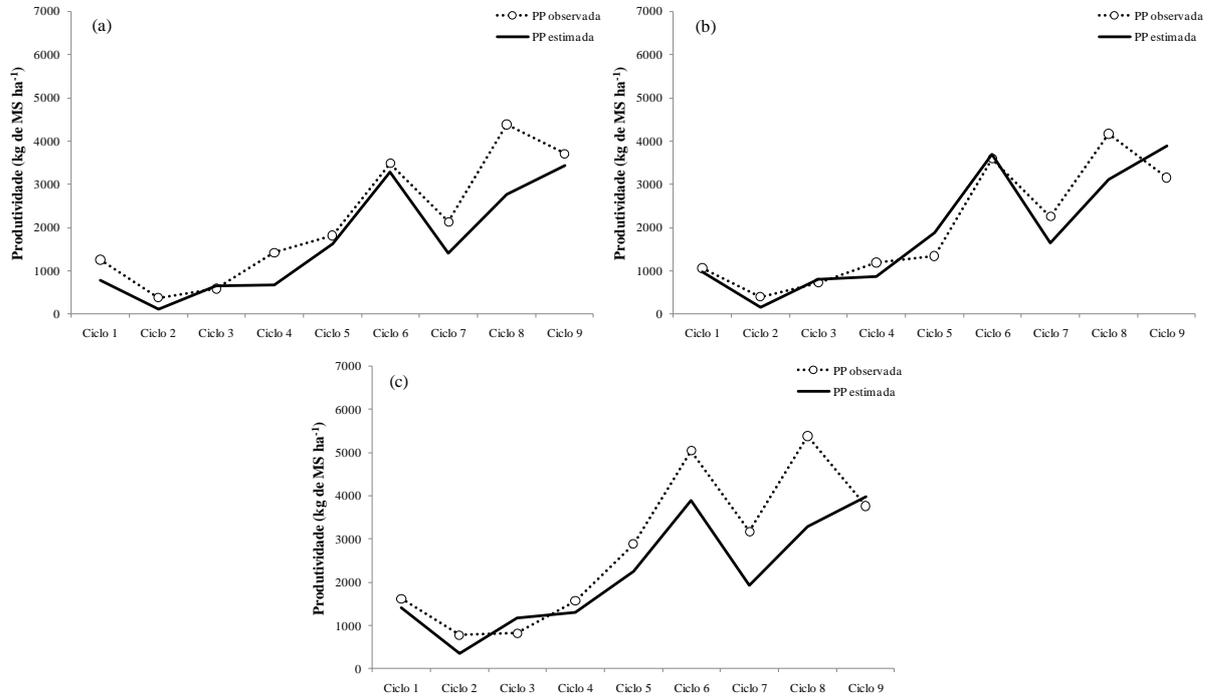
ANEXO I – Produtividade potencial de forragem observada e estimada pelo modelo FAO-MZA, na fase de teste do modelo em condições de pleno sol, nos oito ciclos de crescimento, para as cultivares de *B. brizantha*, Marandú (a), Piatã (b) e Xaraés (c), em São Carlos, SP



ANEXO J – Produtividade atingível de forragem observada e estimada pelo modelo FAO-MZA, na fase de teste do modelo em condições de pleno sol, nos oito ciclos de crescimento, para as cultivares de *B. brizantha*, Marandú (a), Piatã (b) e Xaraés (c), em São Carlos, SP



ANEXO K – Produtividade potencial de forragem observada e estimada pelo modelo FAO-MZA, na fase de teste do modelo, nos nove ciclos de crescimento, para as cultivares de *B. brizantha*, Marandú (a), Piatã (b) e Xaraés (c), em São Carlos, SP



ANEXO L – Produtividade atingível de forragem observada e estimada pelo modelo FAO-MZA em seis ciclos de crescimento, para *B. decumbens* em diferentes distâncias em relação aos renques de árvores: a 6 metros do renque leste (a), a 6 metros do renque oeste (b), a 2 metros do renque oeste (c) e a 2 metros do renque leste (d); de um sistema silvipastoril em São Carlos, SP

