

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**LEONARDO SILVESTRI SZYMCZAK**

**HABILIDADE COMPETITIVA DE CAPIM ARIES COM PLANTAS  
DANINHAS NO ESTABELECIMENTO: CARACTERÍSTICAS  
MORFOLÓGICAS E ANÁLISE DE CRESCIMENTO**

**CURITIBA**

**2014**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**LEONARDO SILVESTRI SZYMCZAK**

**HABILIDADE COMPETITIVA DE CAPIM ARIES COM PLANTAS  
DANINHAS NO ESTABELECIMENTO: CARACTERÍSTICAS  
MORFOLÓGICAS E ANÁLISE DE CRESCIMENTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Produção Vegetal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Aníbal de Moraes

Co-orientador: Prof. Dr. Sebastião Brasil C. Lustosa

Co-orientadora: Profa. Dra. Claudete Reisdörfer Lang

**CURITIBA**

**2014**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGRONOMIA - PRODUÇÃO VEGETAL





## PARECER

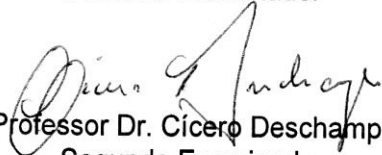
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de MESTRADO, apresentada pelo candidato **LEONARDO SILVESTRI SZYMCZAK**, sob o título **“HABILIDADE COMPETITIVA DE CAPIM ARIES COM PLANTAS DANINHAS NO ESTABELECIMENTO: CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E ANÁLISE DE CRESCIMENTO”**, para obtenção do grau de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.


Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação.

Curitiba, 25 de Julho de 2014.

  
Professor Dr. Cicero Deschamps  
Coordenador do Programa

  
Professor Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa  
Primeiro Examinador

  
Professor Dr. Cícero Deschamps  
Segundo Examinador

  
Professor Dr. Anibal de Moraes  
Presidente da Banca e Orientador

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente à Deus, acima de tudo;

Aos meus pais, Vitalino Luiz Szymczak e Rosangela Silvestri, referência para mim, pelo apoio, dedicação, ensinamentos, compressão que recebi ao longo da minha vida.

À minha namorada Taciane Brustolin pelo apoio, companheirismo e compreensão da distância durante o período do mestrado.

Aos meus irmãos, Lucas e Isabella, pelo apoio e amizade.

Aos meus avós e à minha família pelo apoio, amizade e ensinamentos. E ao grande amigo Anderson Lachowski.

Ao Professor Aníbal de Moraes, pela orientação, confiança, ensinamentos, paciência e amizade.

Ao Professor Sebastião Brasil Campos Lustosa, pelos ensinamentos, orientação, iniciação na pesquisa e amizade.

Aos Professores Claudete Reisdorfer Lang, Ricardo Augusto de Oliveira, Cícero Deschamps e ao Dr. Edilson Batista de Oliveira pelas considerações no trabalho desenvolvido.

Aos meus colegas de pós-graduação, Maurício Schuster, Leonardo Deiss, Tiago Baldissera, Carlos Henrique Coimbra, Marcos Paladini, Gilmar Triches, Thales Portugal, Paulo Marques, Breno Menezes, Rúbia Dominschek, Aline Utima, Tatyanna Kaminski e Delma Silva pela amizade, apoio e contribuições no trabalho.

Aos estagiários Marcos Dalmass e Silvano Kruchelski pela amizade e auxílio no desenvolvimento do trabalho.

Aos funcionários da fazenda e da universidade, principalmente à secretária da pós-graduação Lucimara Antunes e a técnica de laboratório Maria Emilia Kudla.

À Universidade Federal do Paraná pelo suporte e o local disponibilizado para a realização do trabalho.

À CAPES pelo financiamento do trabalho, por meio da bolsa de pós-graduação.

## RESUMO

A competição com plantas daninhas no estabelecimento da pastagem pode ser considerada de natureza complexa, pois dependem de muitos fatores, que estão relacionados ao ambiente, espécies e as relações existentes entre eles, que promovem diminuição da produção e persistência de pastagem. Dessa forma o objetivo do trabalho foi verificar a dinâmica da competição interespecífica entre *Panicum maximum* Jacq. cv. Aries com plantas daninhas, no período de estabelecimento compreendido da emergência de plântulas até 95% de interceptação luminosa, para utilização da forragem após o inverno sob diferentes níveis de sombreamento e nitrogênio. O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 4x2 com quatro repetições avaliando a interferência de plantas daninhas em 0%, até 40%, até 70% e média de 60% de sombreamento, na ausência e presença de N (200 kg ha<sup>-1</sup>). Os tratamentos com sombreamento variável, ou seja, até 40% e 70%, constituíram no corte das plantas daninhas, acima do dossel forrageiro no limite de sombra determinado, promovendo assim variação na porcentagem de sombreamento incidente no *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo. Os capítulos desta dissertação foram divididos em avaliações de características morfológicas e fisiológicas relacionados à produção da matéria seca, como resposta da competição interespecífica. Os resultados dos dois trabalhos demonstram que a produção de matéria seca é dependente das respostas fenotípicas, fisiológicas e a interação entre elas nas condições de competição pela luz e nitrogênio. As respostas foram influenciadas pelas condições momentâneas de luz no desenvolvimento, proporcionada na dinâmica das espécies de plantas daninhas. A competição pela radiação fotossinteticamente ativa promoveu respostas relacionadas à quantidade e qualidade da luz incidentes no dossel do *P. maximum* cv Aries, influenciando no perfilhamento, estatura, senescência folhar, índice de área foliar, taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo, taxa de crescimento cultural, relação de área foliar e área foliar específica. O nitrogênio proporcionou melhores condições para o desenvolvimento, auxiliando nas respostas de fuga à sombra e captura da luz. Esse trabalho reforça a necessidade do entendimento dos processos envolvidos na dinâmica da competição de comunidades vegetais, com a função de prover ferramentas para o manejo de culturas em sistemas de maior eficiência agrônômica.

**Palavras Chave:** Ecofisiologia; *Panicum maximum*; análise de crescimento; morfologia; matéria seca; competição interespecífica; metabolismo C<sub>4</sub>.

## ABSTRACT

The competition with weeds in pasture establishment can be considered complex, because they depend on many factors, which are related to the environment, species and the links between them, which promote decreased pasture production and persistence. Thus the aim of the study was to assess the dynamics of interspecific competition between *Panicum maximum* Jacq. cv. Aries with weeds during establishment period ranging from emergence to 95% light interception for use after winter forage under different levels of shading and nitrogen. The experimental design was randomized blocks in a 4x2 factorial arrangement with four replications evaluating weed interference, 0%, until 40% shading, until 70% shading and average 60% shading, in the absence and presence of N (200 kg ha<sup>-1</sup>). Treatments with variable shading, i.e., until 40% and until 70%, were cutting weeds above the canopy at the edge of a particular shade, so there is variation in the percentage of shading incident in *P. maximum* cv. Aries over time. The chapters of this dissertation were divided on measurement of morphological and physiological characteristics related to the production of dry matter in response interspecific competition. The results of both studies showed that the dry matter production is dependent phenotypic responses, physiological and the interaction between them in the conditions of competition for light and nitrogen. The answers were influenced by momentary light conditions on the development, provided the dynamics of weed species. The competition promoted by photosynthetically active radiation related to the quantity and quality of incident light in the canopy of *P. maximum* cv. Aries responses, influencing tillering, height, leaf senescence, the leaf area index, net assimilation rate, relative growth rate, rate cultural growth, leaf area ratio and specific leaf area. Nitrogen provided better conditions for development, aiding in the escape responses to the capture of light and shadow. This work highlights the need for understanding the processes involved in the dynamics of plant communities competition, with the function of providing tools for crop management in higher agronomic efficiency systems.

**Key Words:** Ecophysiology; *Panicum maximum*; growth analysis; morphology; dry matter; interspecific competition; C<sub>4</sub> metabolism.

## LISTA DE FIGURAS

### 2. CAPÍTULO 1

**Figure 1** Temperatura máxima, média, mínima (°C) e precipitação média (mm) durante o período do experimento (Estação experimental do Instituto Tecnológico SIMEPAR, Pinhais, Paraná, Brasil).....33

**Figura 2** Porcentagem de sombreamento provocado pelas plantas daninhas acima do dossel do *P. maximum* cv. Aries conforme os tratamentos adotados ao longo do tempo, sem a utilização de nitrogênio. O corte significa que foi alcançada a porcentagem desejada nos tratamentos (até 40% de sombreamento  $\downarrow$  e até 70% de sombreamento  $\downarrow$ ). No convívio com as plantas daninhas o sombreamento médio foi de 60%. A barra ( $\bar{\Gamma}$ ) representa o desvio padrão calculada a cada sete dias e para cada tratamento de sombra.....33

**Figura 3** Porcentagem de sombreamento provocado pelas plantas daninhas acima do dossel do *P. maximum* cv. Aries conforme os tratamentos adotados ao longo do tempo, com a utilização de 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. O corte significa que foi alcançada a porcentagem desejada nos tratamentos (até 40% de sombreamento  $\downarrow$  e até 70% de sombreamento  $\downarrow$ ). No convívio com as plantas daninhas o sombreamento médio foi de 60%. A barra ( $\bar{\Gamma}$ ) representa o desvio padrão calculada a cada sete dias e para cada tratamento de sombra.....34

**Figura 4** Índice de importância relativa (IR) de cada espécie de plantas daninhas (acima de 10% de IR) nos tratamentos de até 40% de sombreamento com (a) e sem (b) nitrogênio, até 70% de sombreamento com (c) e sem (d) nitrogênio e 60% de sombreamento com (e) e sem (f) nitrogênio, a cada sete dias.....35

**Figura 5** Estatura (centímetros) média por planta do *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e das doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio).....36

**Figura 6** Dinâmica no número de perfilhos por planta do *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e das doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio).....36

**Figura 7** Índice de área foliar (IAF) do *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e das doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio).....36

**Figura 8** Matéria seca por planta do *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de das nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio).....37



**Figura 9** Produção de matéria seca total (kg ha<sup>-1</sup>) de *P. maximum* cv. Aries no final do experimento em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio. Letras maiúsculas iguais não diferem entre si para os tratamentos com nitrogênio e letras minúsculas iguais não diferem entre si para os tratamentos de sombreamento ao nível de 1% de significância. A linha tracejada indica a máxima produtividade no tratamento sem plantas daninhas e sem nitrogênio.....37



**Figura 10** Material senescente (gramas) de folha por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro (à esquerda) e na condição de sem e com 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (à direita).....38

**Figura 11** Intensidade de competição relativa (ICR) interespecífica por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro. Linha tracejada representa a condição sem a interferência das plantas daninhas (0% de sombreamento).....38

### 3. CAPÍTULO 2

**Figura 1** Temperatura máxima, média, mínima (°C) e precipitação média (mm) durante o período do experimento (Estação experimental do Instituto Tecnológico SIMEPAR, Pinhais, Paraná, Brasil).....56

**Figura 2** Porcentagem de sombreamento provocado pelas plantas daninhas acima do dossel do *P. maximum* cv. Aries conforme os tratamentos adotados ao longo do tempo, sem a utilização de nitrogênio. O corte significa que foi alcançada a porcentagem desejada nos tratamentos (até 40% de sombreamento  e até 70% de sombreamento ). No convívio com as plantas daninhas o sombreamento médio foi de 60%. A barra ( $\bar{\Gamma}$ ) representa o desvio padrão calculada a cada sete dias e para cada tratamento de sombra.....56

**Figura 3** Porcentagem de sombreamento provocado pelas plantas daninhas acima do dossel do *P. maximum* cv. Aries conforme os tratamentos adotados ao longo do tempo, com a utilização de 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. O corte significa que foi alcançada a porcentagem desejada nos tratamentos (até 40% de sombreamento  e até 70% de sombreamento ). No convívio com as plantas daninhas o sombreamento médio foi de 60%. A barra ( $\bar{\Gamma}$ ) representa o desvio padrão calculada a cada sete dias e para cada tratamento de sombra.....57

**Figura 4** Índice de importância relativa (IR) de cada espécie de plantas daninhas (acima de 10% de IR) nos tratamentos de até 40% de sombreamento com (a) e sem (b) nitrogênio, até 70% de sombreamento com (c) e sem (d) nitrogênio e 60% de sombreamento com (e) e sem (f) nitrogênio, a cada sete dias.....58

**Figura 5** Matéria seca por planta do *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio).....59

**Figura 6** Estimativa da taxa de crescimento absoluto - TCA ( $\text{g GD}^{-1}$ ) por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio).....59

**Figura 7** Estimativa da taxa de crescimento relativo - TCR ( $\text{g g}^{-1} \text{GD}^{-1}$ ) por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio).....59

**Figura 8** Estimativa da taxa de assimilação líquida - TAL ( $\text{g cm}^{-2} \text{GD}^{-1}$ ) por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio).....60

**Figura 9** Área foliar específica - AFE ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ) por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio).....60

**Figura 10** Razão de área foliar - RAF ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ) por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio).....60

## LISTAS DE TABELAS

### 2. CAPÍTULO 1

**Tabela 1** Análise de solo da área experimental antes da semeadura do *P. maximum* cv. Aries, para pH em cloreto de cálcio (pH CaCl<sub>2</sub>), alumínio (Al), alumínio mais hidrogênio (H+Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), carbono do solo (C), saturação bases (V) e fósforo (P), nas profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.....32

**Tabela 2** Análise de variância (ANOVA) em função dos níveis de sombreamento provocados pelas plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses nitrogênio (sem e com 200 kg ha<sup>-1</sup>) para altura por planta, número de perfilhos por planta, matéria seca por planta (MS), folha senescente por planta, índice de área foliar (IAF) e intensidade de competição relativa (ICR) interespecífica, ao longo do experimento (soma térmica em graus dias).....32

### 3. CAPÍTULO 2

**Tabela 1** Análise de solo da área experimental antes da semeadura do *P. maximum* cv. Aries, para pH em cloreto de cálcio (pH CaCl<sub>2</sub>), alumínio (Al), alumínio mais hidrogênio (H+Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) carbono do solo (C), saturação bases (V) e fósforo (P), nas profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.....55

**Tabela 2** Análise de variância (ANOVA) para produção de matéria seca por planta (MS) por planta de *P. maximum* cv. Aries em função do nitrogênio e do sombreamento, ao longo do tempo (soma térmica em graus dias).....55

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2. CAPÍTULO 1</b> .....	16
Habilidade competitiva de Capim Aries com plantas daninhas no estabelecimento: Características morfológicas .....	16
<b>Resumo</b> .....	16
<b>Introdução</b> .....	16
<b>Material e métodos</b> .....	16
<b>Resultados</b> .....	21
<b>Discussão</b> .....	24
<b>Conclusão</b> .....	27
<b>Agradecimentos</b> .....	27
<b>Referências</b> .....	28
<b>3. CAPÍTULO 2</b> .....	39
Análise de crescimento de forrageira tropical sob interferência de plantas daninhas no estabelecimento .....	39
<b>Resumo</b> .....	39
<b>Introdução</b> .....	39
<b>Material e Métodos</b> .....	41
<b>Resultados</b> .....	44
<b>Discussões</b> .....	48
<b>Conclusão</b> .....	51
<b>Agradecimentos</b> .....	51
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	52
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	61
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	63

## 1. INTRODUÇÃO

O ecossistema de uma pastagem envolve a interação de componentes bióticos e abióticos, que influenciam direta ou indiretamente as forrageiras. Essas interações compreendem o envolvimento entre a comunidade de plantas no local como também os fatores que regem o desenvolvimento das mesmas (NABINGER, 1996).

Na forma mais abrangente, o ecossistema tem o seu funcionamento governado por fluxos de energia e de massa. O primeiro envolve a radiação e o calor sensível, já o segundo refere-se ao dióxido de carbono, água, nitrogênio e demais nutrientes (LEMAIRE, 2001).

Além dos fatores abióticos disponíveis, ocorrem interações que podem ser intraespecíficas e/ou interespecíficas, atuando como modificador do ecossistema, principalmente devido às necessidades que são bastante variáveis entre elas (LEMAIRE, 2001; BULLOCK, 1996; PARK, et al. 2003).

As fases do desenvolvimento de uma pastagem vão do estabelecimento, composto pela germinação, emergência (quando semeado) ou enraizamento e rebrote (quando plantado mudas) até o desenvolvimento inicial das espécies na área, seguido pela colonização e persistência (VAN DER VALK, 1992, COOK, 2007). Para espécies forrageiras perenes, em sua maioria, durante o estágio vegetativo, os fotoassimilados excedentes são destinados a órgãos de reservas, que apresentam a finalidade de utilização na construção da parte aérea após um período de dormência (LARCHER, 2000) e/ou manutenção do crescimento para a persistência na área.

Um dos fatores que tem maior interferência no estabelecimento de pastagem são as plantas daninhas, principalmente para as espécies perenes que apresentam um estabelecimento lento (COOK, 2007).

As plantas daninhas são aquelas espécies que possuem característica oportunista pelo espaço, ou seja, tendem a se desenvolver em condições de solo parcial ou totalmente descoberto (PITELLI, 1987). Condição esta que ocorre na implantação e estabelecimento/rebrota de uma forrageira (DITOMASIO, 2000, SCHUSTER et al. 2013).

Por definição as plantas daninhas apresentam a característica de utilização do mesmo recurso, com as plantas cultivadas, para o seu crescimento como, o mesmo

quantum de luz, íon de nutriente mineral, molécula de água ou volume de espaço (GRIME, 2001).

A competição pela utilização do recurso disponível ocorre tanto acima quanto abaixo do solo, como também pela interação dos dois, ou seja, quando a disponibilidade de um é baixa influenciará na captura do outro, sendo desta forma regida pela eficiência e habilidade competitiva de cada espécie (RIZZARDI et al., 2001, BOOTH et al., 2003).

Como resultado dessa competição tem-se diminuições de produção de massa de matéria seca, como por exemplo, no estabelecimento de *Trifolium repens* em que alcançaram no entorno de 96%, apresentando redução de 13,0 kg ha<sup>-1</sup> a cada dia em que as plantas conviviam com as plantas daninhas, nos primeiros 20 dias após a semeadura (SCHUSTER et al. 2013).

Modelos de previsões de perdas de produtividade, em fases iniciais de crescimento, têm como base a área foliar e a densidade das plantas daninhas (ALI et al., 2013). Estas que por sua vez, têm influência direta em fatores muito importantes, como o sombreamento, a utilização dos nutrientes do solo, principalmente o nitrogênio, e da água, no desenvolvimento da pastagem (KROPFF et al., 1992).

As plantas daninhas têm diversas estratégias de otimização para captura da luz, como exemplo: rápida germinação, rápido crescimento, maior crescimento em altura em altas densidades de plantas e a alongação das hastes posicionando as folhas acima do dossel; como também pela captura de nitrogênio, que estão relacionadas a maior utilização inicial - ligado a germinação mais cedo, a alta eficiência da utilização e a alta mobilidade do nitrogênio no solo e na planta (BOOTH et al., 2003 KEMP; KING, 2001, HÅKANSSON, 2003) .

O objetivo do trabalho foi verificar o efeito da competição interespecífica das plantas daninhas no estabelecimento de *Panicum maximum* Jacq. cv. Aries, em condições variáveis de sombra e níveis de nitrogênio. Sendo assim, os objetivos específicos da dissertação foram divididos em dois capítulos, com a finalidade de resposta da produção.

- Avaliar a competição entre plantas daninhas nas características morfológicas do *P. maximum* cv Aries, sendo elas: Estatura, dinâmica de perfilhamento, senescência folhar, índice de área foliar e a intensidade de competição relativa (ICR) causada pelas plantas daninhas.

- Verificar o efeito da competição nas características fisiológicas do *P. maximum* cv. Aries, sendo elas: Taxa de crescimento cultural, taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo, razão de área foliar e área foliar específica.

## 2. CAPÍTULO 1

Habilidade competitiva de Capim Aries com plantas daninhas no estabelecimento:

Características morfológicas <sup>1</sup>

### Resumo

Esta pesquisa avaliou a competição interespecífica do *Panicum maximum* cv. Aries no período de estabelecimento, sendo os fatores estudados os níveis de sombreamento variáveis e de nitrogênio. Os níveis de sombreamento provocados pelas plantas daninhas foram de 0%, até 40%, até 70% e 60 %, na ausência e na presença de nitrogênio. Foram analisados estatura de planta, dinâmica de perfilhamento, índice de área foliar (IAF), matéria seca, material senescente de folha e intensidade de competição relativa (ICR) de *P. maximum* cv Aries com as plantas daninhas. As características morfológicas e produtividade do *P. maximum* cv. Aries apresentaram melhores respostas em condição de não interferência das plantas daninhas. No sombreamento variável (até 40 e 70%) houve aumento no IAF e diminuição da senescência de folhas e do ICR, comparado com o convívio total com as plantas daninhas sem corte, que este último refletiu em um sombreamento de médio de 60%. No até 70% de sombreamento com nitrogênio houve aumento na estatura de plantas. O nitrogênio contribuiu para um melhor desenvolvimento de *P. maximum* cv. Aries, contudo no tratamento de 60% de sombreamento houve o domínio pelas plantas daninhas. O incremento na produção de matéria seca não foi influenciado pelo IAF somente para o tratamento de 60% de sombreamento e sem nitrogênio. Já o perfilhamento teve influência no 0% de sombreamento com e sem nitrogênio e até 40% de sombreamento com nitrogênio. Mesmo sendo pequena a diferença nas porcentagens de sombreamento, a condição variável no tempo exprime diferentes respostas morfológicas em comparação com uma condição homogênea.

**Palavras Chave:** *Panicum maximum* cv. Aries, sombreamento, nitrogênio perfilhamento, matéria seca, índice de área foliar, intensidade de competição.

### Introdução

O desenvolvimento inicial de plantas recém-estabelecidas é considerado lento, sendo necessário o desenvolvimento estrutural da parte aérea, para que se tenha um crescimento exponencial até o corte (Nelson, 2000). Nesse período há diversos fatores

---

<sup>1</sup> Formatação elaborada conforme as normas da revista *Grass and Forage Science*, porém o texto está redigido em português.

que influenciam um bom estabelecimento inicial que vão da germinação a competição com as plantas daninhas (Cook, 2007).

A competição conforme Weigelt and Jolliffe (2003) é definida como uma interação entre indivíduos, provocada por um requisito em comum ou por um recurso em quantidade limitada, que conduz a uma redução do desempenho de pelo menos alguns indivíduos concorrentes.

Dessa forma a competição interespecífica e/ou intraespecífica pela luz, é dependente do índice de área foliar da comunidade, condição de  $IAF > 1$ , ou seja, em dosséis densos (Lemaire et al., 2007).

Em uma comunidade vegetal, principalmente quando se tem a presença de plantas daninhas em uma cultura, a distribuição como também o estágio de cada indivíduo e espécie são bastante desiguais (Bourgeois et al., 2012; Cobalch et al., 2006). Esta heterogeneidade temporal e espacial entre as espécies proporciona também grande variabilidade de dosséis, tornando a competição complexa (Munier-johain et al., 2013).

Nessas condições, de alta densidade de plantas em uma mesma área, há alta competição pela radiação solar, promovendo maior captação pelo dossel da comunidade, criando diversos padrões de estratos de quantidade e qualidade de luz em órgãos e plantas posicionados mais abaixo do dossel (Aphalo et al., 1999; Munier-jolain et al., 2013).

Sendo assim, há maior absorção pelas clorofilas de comprimentos de onda do vermelho (600–700 nm) e azul (400–500 nm), refletindo e transmitindo comprimento de onda do vermelho-longo (700–800 nm), o que promove diminuição da relação vermelho/vermelho-distante incidentes no solo (Aphalo et al., 1999, Gommers et al., 2013).

Condições que excitam às respostas plásticas de modulação das plantas em função da luz, como alongação do caule e do pecíolo, diminuição da ramificação, aumento da senescência foliar e de perfilhos, alteração da partição de fotoassimilados, promoção de perfilhos mais eretos e estiolados (Gommers et al., 2013; Ballaré and Casal, 2000). Outras respostas estão na menor área foliar específica, menor relação folha/colmo, menor densidade de perfilhos (Wan and Sosebee, 1998, Deiss et al., 2014, Evers et al., 2007), retardamento no início do florescimento (Carvalho et al, 2002), maior altura (Dan et al, 2010), e menores teores de carboidratos totais não estruturais (armazenamento) em raízes (Castro et al., 1999, Koukoura et al., 2009) como também menor produção de massa de matéria seca da parte aérea (Kyriazopoulos, et al., 2012).

Entretanto a utilização de adubação nitrogenada pode promover efeito positivo na estrutura da captação da luz para a realização da fotossíntese (Gastal and Lemaire, 2002), aumento do índice de área foliar (IAF), na produção de massa de matéria seca de raiz, na altura de plantas, perfilhamento/ramificação, produção de folhas, no rebrote e na melhoria na qualidade da forragem (Mahajan et al., 2012; Lemaire and Chapman, 1996; Rostanza et al., 2011), que poderia auxiliar contra as respostas negativas do sombreamento.

Dessa forma o resultado da competição com as plantas daninhas no período do estabelecimento de pastagem pode promover redução de até 96% da produção de massa de matéria seca total (Schuster et al., 2013), sendo que essa redução é dependente da eficácia de cada espécie em concorrer na limitação dos recursos; capacidade de resposta de cada espécie para a distribuição dos recursos e os efeitos das espécies em diferentes proporções na misturas dos dois fatores anteriores (Jolliffe et al., 1984; Jolliffe, 2000; Stachová et al., 2013).

Em condição de campo a competição é um processo dinâmico e complexo, pois há respostas tanto da forrageira como também das plantas daninhas, dependente da condição naquele momento, sendo necessário e muito importante o detalhamento dos fatores envolvidos ao longo do tempo para melhor compressão das respostas vegetais (Weigelt and Jolliffe, 2003).

Dessa forma objetivou-se avaliar as características morfológicas e de produtividade no período de estabelecimento de *Panicum maximum* cv. Aries, em condição de sombreamento variável ao longo do tempo e níveis de nitrogênio como fatores de competição interespecífica.

### **Material e métodos**

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Cangüiri da Universidade Federal do Paraná – UFPR, localizada no município de Pinhais, Paraná, onde o clima da região é o Cfb, sem estação seca, com verões frescos e inverno moderado, conforme a classificação de Köppen, em altitude de aproximadamente de 900 m e com precipitação média anual de 1400 a 1600 mm; localizada a 25°26'41" de latitude Sul e 49°11'33" de longitude Leste (Caviglione, et al., 2000). A temperatura e precipitação média no período do experimento são apresentadas da Figura 1.

A semeadura do *P. maximum* cv. Aries foi realizada em linha espaçada por 0,17 m na data de 13 de janeiro de 2013 na densidade de 9 kg ha<sup>-1</sup>, após preparo do solo com

cultivo mínimo (uma gradagem). Verificou-se que houve variação de 28 a 60 plantas  $m^{-2}$  de *P. maximum* no experimento. Foram aplicados 40 kg  $ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  no sulco de semeadura e 180 kg  $ha^{-1}$  de  $K_2O$  a lanço. O período do experimento foi realizado de 18 de fevereiro a 08 de abril de 2013, ou seja, na fase de estabelecimento do *P. maximum* cv Aries, que foi considerado nesse experimento o período da semeadura até o nível de 95% de interceptação luminosa da forrageira, para a utilização da pastagem após o inverno.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) no esquema fatorial 4x2 com quatro repetições constituídos de parcelas de 5x2,5 m, avaliando quatro níveis de sombreamento e aplicação de nitrogênio. A porcentagem de sombreamento que as plantas daninhas promoveram sobre o estabelecimento da *P. maximum* cv. Aries foi determinada sem a interferência das plantas daninhas (testemunha – 0% sombreamento); até 40% de sombreamento; até 70% de sombreamento e convívio total com as plantas daninhas durante o período do experimento, que se obteve sombreamento médio de 60% (Figuras 1 e 2).

O segundo fator avaliado foi a influência ou não da adubação nitrogenada, na dose de 200 kg  $ha^{-1}$  de N na forma de ureia com aplicação única a lanço, quando as plantas estavam com quatro folhas. Conforme a análise do solo (Tabela 1), o solo apresentou 7,24% e 6,24% de matéria orgânica ( $[C_{orgânico} \times 1,74] / 10$ ) de 0,00 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m de profundidade, respectivamente.

Para avaliação do sombreamento foi utilizado o aparelho Ceptômetro (a partir da determinação da radiação fotossinteticamente ativa - RFA), sendo realizadas cinco medições por parcela a cada sete dias, a porcentagem de sombreamento acima do dossel forrageiro e abaixo do dossel da comunidade de plantas daninhas. Quando encontrada a porcentagem de sombreamento desejada (até 40% e até 70%), realizou-se a roçada, com uma roçadeira costal, cortando somente a porção acima da altura das plantas de *P. maximum* cv. Aries, ou seja, cortando a porção das plantas daninhas que estavam acima do dossel forrageiro e que por sua vez não afetava as plantas de Capim Aries. No convívio total com as plantas daninhas não foi realizado nenhum corte ao longo do tempo (Figuras 2 e 3).

Foram realizadas sete avaliações, a cada sete dias, de altura, número de perfilhos, matéria seca (total e folha senescente), índice de área foliar (IAF) e intensidade de competição relativa (RCI) interespecífica do *P. maximum* cv. Aries, de acordo com Weigelt e Jolliffe (2003) e Grace (1995).

$$ICR = \frac{MS_{mono} - MS_{mix}}{MS_{mono}} \quad (1)$$

Onde ICR é Intensidade de competição relativa interespecífica,  $MS_{mono}$  é matéria seca de *P. maximum* cv. Aries em monocultura e  $MS_{mix}$  é matéria seca de *P. maximum* cv. Aries na presença de plantas daninhas.

Na condição sem interferência das plantas daninhas foi realizado a retirada manual das plantas, antes da adubação de cobertura, deixando somente as plantas de *P. maximum* cv. Aries nas parcelas.

Realizou-se o levantamento fitossociológico das plantas daninhas quantificando-se o número de espécies, densidade por espécies e matéria seca das plantas na amostra para o cálculo de Importância Relativa (IR) (Mueller-Dombois e Ellenberg, 1974) (Equações 2 e 3), com a finalidade de caracterização das espécies competidoras e poder de sombreamento.

Foram encontradas diversas espécies de plantas daninhas com distribuição desuniforme nas parcelas, porém com a finalidade de filtro, utilizaram-se somente as espécies que tiveram IR maior que 10% em cada tratamento (Figura 4). Todas as espécies encontradas no experimento foram: *Raphanus raphanistrum*, *Bidens pilosa*, *Ipomoea* sp., *Euphorbia heterophylla*, *Brachiaria plataginea*, *Cyperus esculentus*, *Galinsoga parviflora*, *Cynodon dactylon*, *Digitaria horizontalis*, *Richardia brasiliensis*, *Eleusine indica*, *Sida rhombifolia*, *Avena strigosa*, *Oxalis latifolia*, *Rumex obtusifolius*, *Vicia sativa*, *Setaria geniculata*, *Plantago tomentosa*, *Gnaphalium spicatum*, *Aipium leptophyllum* e *Oxalis corniculata*.

$$IR = \frac{IVI}{IVIs} \quad (2) \quad IVI = DR + FR + DoR \quad (3)$$

Onde IR representa a importância relativa, IVI é o índice de valor de importância de cada espécie, IVIs é índice de valor de importância de todas as espécies, DR é densidade relativa, FR é frequência relativa e DoR é a dominância relativa.

Para cada coleta utilizou-se amostras de 0,25 m<sup>2</sup> na forma sistêmica dentro das parcelas (sete amostras por parcela), onde se realizou as avaliações do *P. maximum* cv. Aries e das plantas daninhas. Para a produção de matéria seca foi realizado a separação morfológica e acondicionado em sacos de papel e secas em estufas até atingir peso

constante. A área foliar foi determinada através de uma porcentagem representativa da amostra total e estimado com o software WinRhizo®. A obtenção da estatura das plantas foi a medida da distância do colo até a ponta da folha, com uma régua, na condição de perfilho estendido.

A soma térmica (ST) foi calculada utilizando a soma da temperatura média diária menos a temperatura base, expressada em graus dias (GD), e no experimento utilizou-se 10°C como temperatura base (Moreno et al., 2014, Bonhomme, 2000). Durante o experimento a temperatura mínima foi sempre maior que a temperatura base (Figura 1), dessa forma utilizou-se a Equação 4 para calcular a soma térmica.

$$ST = \Sigma Tm - Tb \quad (4)$$

Onde ST é a soma térmica,  $Tm$  é temperatura média diária  $Tb$  é a temperatura base.

Os dados foram submetidos a testes de homogeneidade de variâncias e normalidade de resíduos. E então realizadas análises de variância (ANOVA), teste de média (Tukey), regressão e correlação (Person), através da utilização do programa estatístico Statistica. Os resultados da ANOVA podem ser visualizados na Tabela 2.

## Resultados

Verificou-se que houve efeito de interação entre os fatores nas variáveis estatura, dinâmica de perfilhos, IAF e produção de matéria seca. Para material senescente de folhas e ICR houve efeito significativo somente nos fatores nitrogênio e sombreamento isolados (Tabela 2).

Para a estatura por plantas a interação entre sombreamento e nitrogênio ocorreu nas soma térmica de 449,50 GD e 511,95 GD ( $p < 0,05$ ), promovendo assim, aumento da estatura do *P. maximum* cv Aries. O comportamento ao longo do tempo das curvas foi exponencial, sendo que as maiores médias de estatura ocorreram nos tratamentos com até 70% de sombreamento, seguido de até 40% de sombreamento, 60% de sombreamento e 0% de sombreamento. Nos tratamento sem nitrogênio os resultados foram bastante parecidos entre eles, verificando que as maiores médias de estatura ocorreram nos tratamentos de 60% de sombreamento, até 40% de sombreamento, sem 0% de sombreamento e até 70% de sombreamento respectivamente (Figura 5).

Em relação à dinâmica de perfilhamento verificou-se que houve interação entre luz e nitrogênio nos 567,80 GD ( $p < 0,01$ ) (Tabela 2), proporcionando aumento no número de perfilhos.

Dessa forma com adubação nitrogenada verificaram-se maiores médias para 0% de sombreamento, seguido de até 40% de sombreamento, até 70% de sombreamento e 60% de sombreamento. Sem a adubação nitrogenada as maiores médias foram para 0% de sombreamento, seguido de até 70% de sombreamento e até 40% de sombreamento. Não foi verificada significância ( $p > 0,05$ ) na condição de 60% de sombreamento sem nitrogênio.

A diferença entre os tratamentos sombreados foram pequenas comparado com o tratamento de 0% de sombreamento. Na condição de sem adubação nitrogenada o comportamento das curvas foi exponencial, porém com nitrogênio no até 40% de sombreamento e até 70% de sombreamento o comportamento foi linear, para 60% de sombreamento foi polinomial de segundo grau e para 0% de sombreamento foi exponencial (Figura 6).

No IAF o aumento proporcionado pela interação entre luz e sombreamento ocorreu nos 696,65 GD ( $p < 0,01$ ) (Tabela 2). Os tratamentos com 0% de sombreamento obtiveram maior IAF, comparado com os demais. Com adubação nitrogenada verificou-se maior média para 0% de sombreamento, seguido de até 40% e até 70% de sombreamento, estes sem diferença, e a menor média foi encontrada para 60% de sombreamento. Sem adubação nitrogenada houve diferença entre as condições de sombreamento e sol pleno. Para todos os tratamentos o comportamento da curva ao longo do tempo foi exponencial. (Figura 7)

A produção de matéria seca por planta foi influenciada pela interação luz-nitrogênio nos 696,65 GD ( $p < 0,01$ ) (Tabela 2), sendo que o comportamento da curva ao longo do tempo foi exponencial (Figura 8), possivelmente devido não ter sido alcançado os 95% de interceptação luminosa até o final do experimento.

Nos 696,65 GD os tratamentos de 0% de sombreamento, até 40% de sombreamento e até 70% de sombreamento com adubação nitrogenada, foram estatisticamente diferentes, obtendo assim maiores ganhos na produção final de matéria seca. Na condição de adubação nitrogenada foi verificado que houve diferença significativa somente entre sem interferência e com a interferência das plantas daninhas. Sem adubação a diferença significativa foi somente entre 0% de sombreamento e 60% de sombreamento (Figura 9).

Verificou-se alta correlação entre a produção de matéria seca e IAF ao longo do experimento. Para a condição sem a adubação nitrogenada a correlação (R) foi de 0,978 ( $p=0$ ); 0,881 ( $p<0,01$ ); 0,921 ( $p<0,01$ ) e 0,783 ( $p<0,01$ ) para 0% de sombreamento, até 40% sombreamento, até 70% de sombreamento e 60% de sombreamento, respectivamente. Com adubação nitrogenada o R foi de 0,936 ( $p<0,01$ ); 0,909 ( $p<0,01$ ) e 0,854 ( $p<0,01$ ) para 0% de sombreamento, até 40% de sombreamento e até 70% de sombreamento, respectivamente. Não foi verificada correlação na condição de 60% de sombreamento sem nitrogênio.

Já para o perfilhamento foi verificada alta correlação entre a produção de matéria seca somente para a condição de 0% de sombreamento e até 40% de sombreamento com nitrogênio, 0,873 ( $p<0,01$ ) e 0,748 ( $p<0,01$ ) respectivamente. Para sem adubação nitrogenada houve alta correlação somente no 0% de sombreamento, com  $R = 0,918$  ( $p<0,01$ ).

As folhas iniciaram o processo de senescência a partir da soma térmica de 449,50 °C. A produção de material senescente de folhas foi influenciada pelo nitrogênio a partir de 567,80 °C, o qual promoveu aumento da produção de massa de material senescente ( $p<0,01$ ). Nos 696,65 °C apesar do efeito significativo do nitrogênio, o sombreamento provocou diminuição de massa de material senescente ( $p<0,01$ ) (Tabela 2). Verificando dessa forma que as maiores médias de produção de material senescente de folha ocorreram nos tratamentos com 0% de sombreamento, seguido de até 40% de sombreamento, até 70% de sombreamento e 60% de sombreamento. A produção de material senescente foi maior quando adubado com nitrogênio o que provavelmente se deve a maior produção de matéria seca. O comportamento da curva para 0% de sombreamento foi polinomial e para os demais tratamentos foi linear ao longo do tempo. Para sem e com nitrogênio o comportamento foi polinomial (Figura 10).

O aumento da ICR interespecífica foi em função do sombreamento nos períodos de 511,95 °C, 567,80 °C ( $p<0,01$ ) e 628,45 °C ( $p<0,05$ ) (Tabela 2). Sendo assim, nos 60% de sombreamento a ICR foi maior desde o início do experimento, pois nessa condição não foi realizado o corte do dossel das plantas daninhas, o que proporcionou dominância sobre *P. maximum* cv. Aries.

O preparo mínimo do solo permitiu que houvesse o aparecimento de 19 espécies de plantas daninhas em competição com o *P. maximum* cv. Aries. Como evidenciado nas figuras 2 e 3, em que as diversas espécies promoveram o sombreamento sob a forrageira, dependente do tratamento, do início ao final do experimento.

O levantamento fitossociológico demonstrou que houve uma dinâmica no IR das espécies presentes nos tratamentos conforme os tratamentos. Dessa forma a alternância das espécies confere o potencial de sombreamento causado sobre o *P. maximum* cv. Aries. O sombreamento não foi somente causado por uma determinada espécie durante o tempo, ou seja, no início do experimento houve maior IR, principalmente, pela *R. raphanistrum*, sendo posteriormente IR responsável por *B. pilosa* (Figura 4).

Dessa forma podemos julgar que houve uma relação entre portes de plantas, para *R. raphanistrum* e *P. maximum* cv. Aries com menor porte inicialmente e posterior *B. pilosa* e *P. maximum* cv. Aries com maior porte, porém com planta daninha predominante sobre a forrageira.

A comunidade de plantas daninhas proporcionou diminuição dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) devido à diversidade de espécies, que proporcionou grande heterogeneidade de sombreamento.

## **Discussão**

O sombreamento no convívio total com as plantas daninhas sem corte foi menor nos primeiros sete dias, ocorrendo aumento nos dias seguintes, mantendo uma média de 60% de sombra até o final do experimento. Com até 40% de sombreamento houve dois momentos em que foram alcançados os limites de sombreamento, em resposta ao crescimento das plantas daninhas. Para até 70% de sombreamento o limite foi alcançado somente uma vez, sendo este no décimo primeiro dia do experimento. Sendo assim houve variações nas porcentagens de sombra ao longo do tempo, para os dois últimos tratamentos (Figuras 2 e 3).

Estes resultados são frutos das interações entre as respostas do *P. maximum* cv. Aries e as plantas daninhas, que são em função da habilidade competitiva das espécies, como altas taxas de crescimento (De Ribou et al., 2013). Dessa forma pode ter ocorrido resposta de fuga da sombra nas condições de sombreamento variável e nos 60% de sombreamento a de tolerância da sombra, sendo esse último uma condição de domínio pelas plantas daninhas.

Quando adubados com nitrogênio as plantas daninhas tiveram melhor desenvolvimento, principalmente no convívio total com as plantas daninhas, onde não foi realizado o corte (Figura 11).

Em condição de sombreamento foi verificado que houve aumento da estatura de plantas (Figura 5). Esta resposta está ligada a mudanças da qualidade de luz. Nessas

condições, o fitocromo é convertido da forma ativa para a forma inativa, promovendo ativação de proteínas PIFs que se liga a promotores e regula a expressão de genes-alvo. Dessa forma há aumento da biossíntese de auxina que por sua vez é transportado para a epiderme, para o controle do alongamento das células. As auxinas ainda interagem com brassinosteróides, um potente estimulador do crescimento. Ainda nessas condições ocorre também a produção de etileno. Hormônios pelos quais são responsáveis pelo alongamento vegetal para a resposta da fuga da sombra (hiponastia) (Ruberti et al., 2012, Gommers et al., 2013).

Durante o desenvolvimento do *P. maximum* cv. Aries, a estatura foi influenciada positivamente pela interação nitrogênio-sombreamento, possivelmente em resposta da de fuga a sombra (Figura 5). O nitrogênio atua na promoção do crescimento da planta, participando de diversos processos fisiológicos e de compostos essenciais como proteínas, clorofilas, ácidos nucleicos, dentre muitos outros (Taiz and Zeiger, 2010).

A relação vermelho/vermelho-longo tem influência no perfilhamento (Evers et al., 2011). Nas condições de sombreamento a redução no número de perfilhos foi grande comparado com a condição de sem interferência das plantas daninhas. Nas condições de sombra houve poucas diferenças ao longo do tempo (Figura 6)

Sob condições de alta relação promove a quebra de dormência das gemas, estas que estão localizadas na base da planta, como uma resposta da sinalização de vegetação circundante. A intensidade luminosa também tem papel importante nesse processo, pois em altas intensidades ocorrem altas taxas de assimilação, e por consequência, alta proporção fonte/dreno. Dessa forma ocorre o aumento da translocação de fotoassimilados para as gemas, servindo de estímulo para o crescimento de novos perfilhos (Evers et al., 2011).

O sombreamento promove menor perfilhamento pelo baixo estímulo da luz na base das plantas. Possivelmente a pequena diferença entre os tratamentos com a interferência das plantas daninhas (Figura 6) está relacionada à quantidade de espécies na competição (Figura 4) e a proximidade dos níveis de sombra adotados no experimento. Pois mesmo realizando o corte acima do dossel forrageiro, havia espécies de menor porte, bem como a própria área foliar do *P. maximum* cv Aries, na interceptação da luz incidente no solo.

Aumento no perfilhamento pelo nitrogênio (Figura 6) pode estar relacionado a dois principais fatores. Primeiro, no estado nutricional das plantas, pois o elemento tem influência na síntese de enzimas que atuam como transportadores hormonais como, por

exemplo, auxina, citocinina e strigolactose, que desempenham funções no perfilhamento (Evers et al., 2011). E no desenvolvimento de locais potenciais nas gemas para o aparecimento de novos perfilhos, devido ao pequeno efeito significativo do nitrogênio na taxa de aparecimento de folhas (Cruz and Boval, 2000, Gastal and Lemaire, 2002).

O IAF foi influenciado pelo perfilhamento, ou seja, com o aumento dos números de perfilho há maior produção de folha que reflete em um maior IAF (Figura 7). Resultados parecidos foram encontrado por Baldissera et al. (2013), porém com *Medicago sativa*, em que a ramificação e área foliar foram afetadas pela competição por luz, que promove menor capacidade de captação de luz.

Juntamente com o efeito do perfilhamento, o nitrogênio pode ter efeitos diretos no aumento do IAF (Figura 7). O elemento promove aumento na taxa de alongação de folhas e tamanho da folha, principalmente devido ao aumento da divisão e expansão celular (Cruz and Boval, 2000, Gastal and Lemaire, 2002), que por sua vez tem influência direta na altura de plantas, condição que pode ocorrido no tratamento até 70% de sombreamento com nitrogênio (Figura 5).

As respostas de senescência de folhas observado no experimento (Figura 10) podem estar relacionadas a dois principais fatores, a taxa de crescimento da planta e a duração de vida das folhas.

O nitrogênio promove aumentos da taxa de crescimento das plantas (Capítulo 2), que promove aumento da senescência, como função do balanço do aparecimento de novos órgãos (Cruz and Boval, 2000). A duração de vida de folha é governada pela taxa alongação e o tamanho de folha. Assim, como mencionado acima, o nitrogênio promove aumentos na taxa de alongação de folhas que consequentemente diminui o tempo de vida de folhas (Lemaire and Chapman, 1996). A redução da senescência promovida pelo sombreamento pode estar relacionado a diminuição da taxa de crescimento da planta, tal como no aumento do tamanho das folhas (Gastal and Lemaire, 2002), como citado acima.

O nitrogênio proporcionou melhores condições para o desenvolvimento do *P. maximum* cv. Aries, mas também favoreceu o desenvolvimento da estrutura do dossel das plantas daninhas, especialmente na condição de crescimento sem o corte, como promotor do sombreamento. Já para as condições que houve o corte, até 40% e até 70%, foi necessária a restauração da parte aérea, favorecendo assim a maior entrada de luz no dossel.

Porém esse rebrote das plantas daninhas, na teoria, exige maior necessidade de nitrogênio, que pode ter levado em uma maior competição no solo pelo nitrogênio, principalmente quando essa competição é por plantas de metabolismo diferentes.

Em condições restritivas (competição) de nitrogênio as plantas  $C_3$  respondem diminuindo o IAF, enquanto que nas  $C_4$  ocorre a diminuição na eficiência no uso de recursos. Sendo assim, as  $C_3$  têm maior necessidade de nitrogênio para a geração de capacidade fotossintética, expansão foliar, comparado às  $C_4$  (mais eficiente no uso do nitrogênio), que provavelmente sob efeito de baixa disponibilidade de N no solo há uma competição mais intensa pelo nutriente para a expansão de área foliar e construção do sistema fotossintético (Lemaire et al., 2008).

O aumento da matéria seca foi correlacionado com o IAF, que está em função do aumento da produção de folhas, e o número de perfilhos.

## **Conclusão**

As características morfológicas e produtividade do *P. maximum* cv. Aries apresentaram melhores respostas em condição de não interferência das plantas daninhas. E no sombreamento variável (até 40 e 70%) houve aumento no IAF e diminuição da senescência de folhas e do ICR, comparado com o convívio total com as plantas daninhas sem corte, que este último refletiu em um sombreamento de médio de 60%. No até 70% de sombreamento com nitrogênio houve aumento na estatura de plantas.

O nitrogênio contribuiu para um melhor desenvolvimento de *P. maximum* cv. Aries, contudo no tratamento de 60% de sombreamento houve o domínio pelas plantas daninhas.

O incremento na produção de matéria seca não foi influenciado pelo IAF somente para o tratamento de 60% de sombreamento e sem nitrogênio. Já o perfilhamento teve influência no 0% de sombreamento com e sem nitrogênio e até 40% de sombreamento com nitrogênio.

Mesmo sendo pequena a diferença nas porcentagens de sombreamento, a condição variável no tempo exprime diferentes respostas morfológicas em comparação com uma condição homogênea.

## Agradecimentos

Este estudo foi financiado pela CAPES por meio de bolsa de pós-graduação e agradecemos ao Instituto Tecnológico SIMEPAR pelo fornecimento dos dados meteorológicos.

## Referências

- APHALO P.J. BALLARÉ C.L. and SCOPEL A. (1999). Plant–plant signalling, the shade-avoidance response and competition. *Journal of Experimental Botany*, **50**, 1629–1634. DOI: 10.1093/jxb/50.340.1629.
- BALDISSERA T.C., FRAK E., CARVALHO P.C.F. and LOUARN G. (2013) Plant development controls leaf area expansion in alfalfa plants competing for light. *Annals of Botany*, 1-13. DOI:10.1093/aob/mct251.
- BALLARÉ C.L. and CASAL J.J. (2000) Light signals perceived by crop and weed plant. *Field Crop Research*, **67**, 149-160. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290\(00\)00090-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00090-3).
- BONHOMME R. (2000) Bases and limits to using ‘degree.day’ units. *European Journal of Agronomy*, **13**, 1–10. DOI: 10.1016/S1161-0301(00)00058-7.
- BOURGEOIS A., GABA S., MUNIER-JOLAIN N., BORGY B., MONESTIEZ P. and S. SOUBEYRAND. (2012) Inferring weed spatial distribution from multi-type data. *Ecological Modelling*, **226**, 92-98. DOI:10.1016/j.ecolmodel.2011.10.010.
- CARVALHO M.M., FREITAS V. P. F. and XAVIER D.F. (2002) Início do florescimento, produção e valor nutritivo de forrageiras tropicais sob condições de sombreamento natural. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **37**, 717-722. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2002000500018>.
- CASTRO C.R.T., GARCIA R. CARVALHO M.M. and COUTO L. (1999) Produção Forrageira de gramíneas cultivadas sob luminosidade reduzida. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **28**, 919-927. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35981999000500003>.
- CAVIGLIONE J.H., KIIHL, L.R.B., CARAMORI P. H. and OLIVEIRA D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina : IAPAR, 2000. CD
- COLBACH N., BUSSET H., YAMADA O., DÜRR C. and CANEILL J. (2006) ALOMYSYS: Modelling black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) germination and emergence, in interaction with seed characteristics, tillage and soil climate. II. Evaluation. *Eur. J. Agron.* **24**, 113–128. DOI:10.1016/j.eja.2005.07.002.
- COOK S. (2007) Pasture establishment on old cropping country in southern Queensland. *Tropical Grasslands*. **41**, 191–199.

- CRUZ P. and BOVAL M. (2000) Effect of the nitrogen on some morphogenetic traits of temperate and tropical grasses. In: Lemaire G., Hodgson J. Moraes A., Carvalho P.C.F and Nabinger C. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. CABI Publishing: UK Cambridge University Press.
- DAN H.A., CARRIJO M.S., CARNEIRO D.F., COSTA K.A.P. and SILVA A.G. (2010) Desempenho de plantas sorgo granífero sobre condições de sombreamento. *Acta Scientiarum Agronomy*, **32**, 675-679. DOI: 10.4025/actasciagron.v32i4.5508.
- DEISS L., MORAES A., PELISSARI A., SKORA NETO F., OLIVEIRA E.B. and SILVA V.P. (2014) Oat tillering and tiller traits under different nitrogen levels in an eucalyptus agroforestry system in Subtropical Brazil. *Ciência Rural*, **44**, 71-78. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782014000100012> .
- DE RIBOU S.B., DOUAM F., OLIVIER HAMANT O., FROHLICH M.W. and NEGRUTIU I. (2013) Plant science and agricultural productivity: Why are we hitting the yield ceiling? *Plant Science*, **210**, 159– 176. DOI:10.1016/j.plantsci.2013.05.010
- EVERS J.B., VAN DER KROL A.R., VOS J. and STRUIK P.C. (2011) Understanding shoot branching by modelling form and function. *Trends in Plant Science*, **16**, 464-467. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2011.05.004>
- EVERS J.B., VOS J., CHELLE M., ADRIEU B., FOURNIER C. and STRUIK P.C. (2007) Simulating the effects of localized red:far-red ratio on tillering in spring wheat (*Triticum aestivum*) using a three-dimensional virtual plant model. *New Phytologist*, **176**, 325–336. DOI:10.1111/j.1469-8137.2007.02168.x.
- GASTAL F. and LEMAIRE G. (2002) N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, **53**, 789–799. DOI:10.1093/jexbot/53.370.789.
- GOMMERS, C.M.M., VISSER E.J.W., ONGER K.R.S., VOESENEK L.A.C.J. and PIERIK R. (2013) Shade tolerance: when growing tall is not an option. *Trends in Plant Science*, **18**, 65-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.008>.
- GRACE J.B. (1995) On the measurement of plant competition intensity. *Ecology*, **76**, 305-308. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1940651>.
- JOLLIFFE P.A. (2000) The replacement series. *Journal of Ecology*, **88**, 371-385. DOI: 10.1046/j.1365-2745.2000.00470.x.
- JOLLIFFE P.A., MINJAS A.N. and RUNECKLES V.C. (1984) A reinterpretation of yield relationships in replacement series experiments. *Journal of Applied Ecology*, **21**, 227-243.
- KOUKOURA Z., KYRIAZOPOULOS A.P. and PARISSI Z.M. (2009) Growth characteristics and nutrient content of some herbaceous species under shade and fertilization. *Spanish Journal of Agricultural Research*, **7**, 431-438. DOI:10.5424/sjar/2009072-433.

- KYRIAZOPOULOS A.P., ABRAHAM E.M., PARISSI Z.M., KOUKOURA Z. and NASTIS A.S. (2012) Forage production and nutritive value of *Dactylis glomerata* and *Trifolium subterraneum* mixtures under different shading treatments. *Grass and Forage Science*, **68**, 72–82. DOI: 10.1111/j.1365-2494.2012.00870.x.
- LEMAIRE G. and CHAPMAN D. (1996) Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson J. and Illius A.W. *The ecology and management of grazing systems*. Cab International: UK Cambridge University Press.
- LEMAIRE, G., OOSTEROM E.V., JEUFFROY M., GASTAL F. and MASSIGNAM A. (2008) Crop species present different qualitative types of response to N deficiency during their vegetative growth. *Field Crops Research*, **105**, 253–265. DOI:10.1016/j.fcr.2007.10.009.
- LEMAIRE G., OOSTROM E.V., SHEEHY J., JEUFFROY M.H., MASSIGNAM A. and ROSSATO L. (2007) Is crop N demand more closely related to dry matter accumulation or leaf area expansion during vegetative growth? *Field Crops Research*, **100**, 91–106. DOI:10.1016/j.fcr.2006.05.009.
- MAHAJAN C., CHAUHAN B.S., TIMSINA J., SINGH P.P and SINGH K. (2012) Crop performance and water- and nitrogen-use efficiencies in dry-seeded rice in response to irrigation and fertilizer amounts in northwest India. *Field Crops Research*, **134**, 59–70. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2012.04.011>.
- MORENO L.S.B., PEDREIRA C.G.S, BOOTE K.J. and ALVES R.E. (2014) Base temperature determination of tropical *Panicum* spp. grasses and its effects on degree-day-based models. *Agricultural and Forest Meteorology*, **186**, 26– 33. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.09.013>.
- MUELLER-DOMBOIS D. and ELLENBERG, G.H. (1974) Aims and methods of vegetation ecology. New York: Willey & Sons: 1974. 547p.
- MUNIER-JOLAIN N.M., GUYOT S.H.M. and COBALCH N. (2013) A 3D model for light interception in heterogeneous crop:weed canopies: Model structure and evaluation. *Ecological Modelling*, **250**, 101– 110. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.10.023>.
- NELSON C.J. Shoot morphological plasticity of grasses: Leaf growth vs. tillering. In: Lemaire G., Hodgson J. Moraes A., Carvalho P.C.F and Nabinger C. *Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology*. CABI Publishing: UK Cambridge University Press.
- ROSTAMZA M. CHAICHI M., JAHANSOUZ M. and ALMADALI A. (2011) Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management*, **98**, 1607– 1614. DOI:10.1016/j.agwat.2011.05.014.
- RUBERTI I., SESSA G., CIOLFI A., POSSENTI M., CARABELLI M. and MORELLI G. (2012) Plant adaptation to dynamically changing environment: The shade

avoidance response. *Biotechnology Advances*, **30**, 1047–1058.  
DOI:10.1016/j.biotechadv.2011.08.014.

SCHUSTER M.Z., SZYMCZAK L.S., LUSTOSA S.B.C. PELISSARI A. MORAES  
and FRANCISCO R. (2013) Interferência de plantas daninhas no estabelecimento do  
trevo branco como cultura forrageira. *Ciência Rural*, **43**, 2148-2153.  
DOI:http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013001200005.

STACHOVÁ T., FIBICH P. and LEPS J. (2013) Plant density affects measures of  
biodiversity effects. *Journal of Plant Ecology*, **6**, 1-11. DOI:10.1093/jpe/rts015.

TAIZ L. and ZEIGER E. (2010) *Plant physiology*. Sunderland: Sinauer Associates. **5**,  
782.

WAN C. and SOSEBEE R.E. (1998) Tillering responses to red:far-red light ratio during  
different phenological stages in *Eragrostis curvula*. *Environmental and Experimental  
Botany*, **40**, 247–254. DOI: 10.1016/S0098-8472(98)00044-6.

WEIGELT, A. and JOLLIFFE, P. (2003) Indices of plant competition. *Journal of  
Ecology*, **91**, 707-720. DOI: 10.1046/j.1365-2745.2003.00805.x.

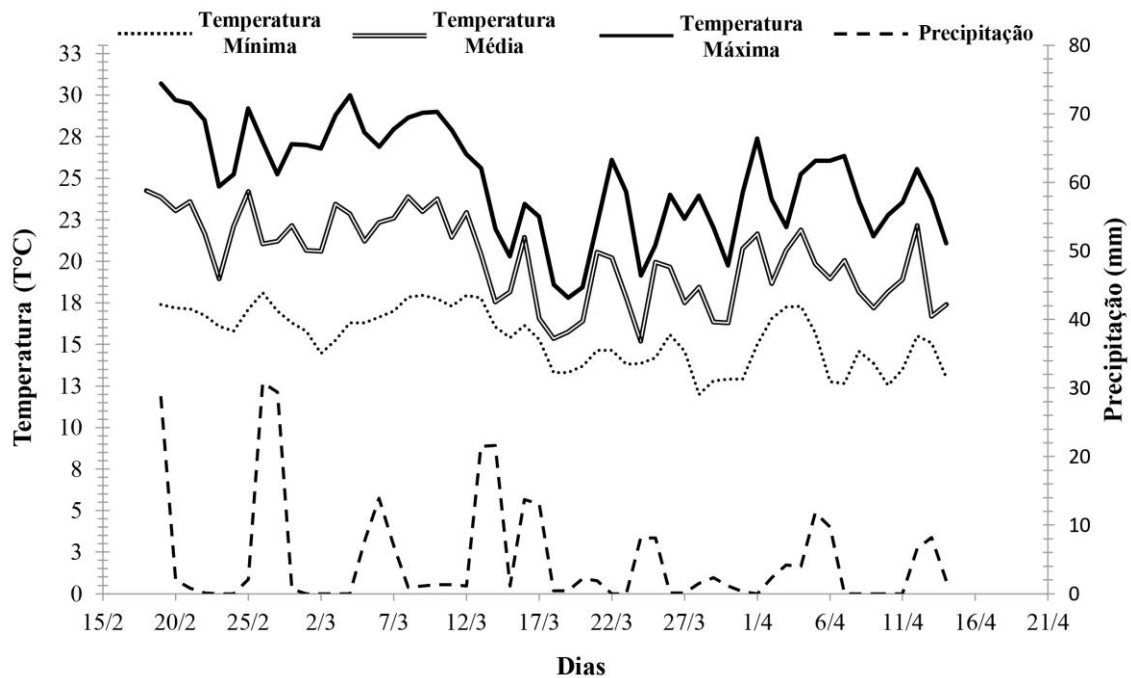
**Tabela 1** Análise de solo da área experimental antes da semeadura do *P. maximum* cv. Aries, para pH em cloreto de cálcio (pH CaCl<sub>2</sub>), alumínio (Al), alumínio mais hidrogênio (H+Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), carbono do solo (C), saturação bases (V) e fósforo (P), nas profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.

Profundidade	pH	Al	H+Al	K	Ca	Mg	C	V	P
m	CaCl <sub>2</sub>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					g dm <sup>-3</sup>	%	mg dm <sup>-3</sup>
0,00 – 0,10	5,10	0,10	7,20	0,09	5,50	3,60	42,10	56	2,30
0,10 – 0,20	5,10	0,10	7,20	0,11	5,30	3,50	36,30	55	2,30

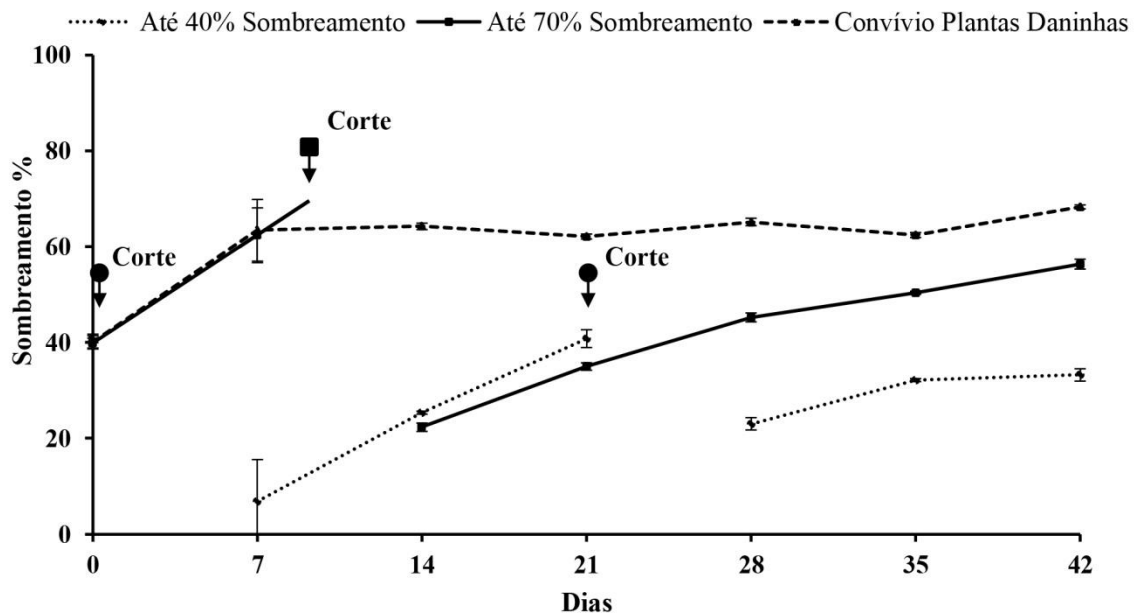
**Tabela 2** Análise de variância (ANOVA) em função dos níveis de sombreamento provocados pelas plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses nitrogênio (sem e com 200 kg ha<sup>-1</sup>) para altura por planta, número de perfilhos por planta, matéria seca por planta (MS), folha senescente por planta, índice de área foliar (IAF) e intensidade de competição relativa (ICR) interespecífica, ao longo do experimento (soma térmica em graus dias).

		Soma Térmica (Graus Dias)						
		279,30	361,25	449,50	511,95	567,80	628,45	696,65
Estatura	S	0,085 <sup>NS</sup>	0,555 <sup>NS</sup>	0,002 <sup>**</sup>	0,012 <sup>*</sup>	0,110 <sup>NS</sup>	0,197 <sup>NS</sup>	0,888 <sup>NS</sup>
	N	0,087 <sup>NS</sup>	0,049 <sup>*</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>
	I	0,133 <sup>NS</sup>	0,676 <sup>NS</sup>	0,019 <sup>*</sup>	0,018 <sup>*</sup>	0,085 <sup>NS</sup>	0,107 <sup>NS</sup>	0,258 <sup>NS</sup>
Perfilhos	S	0,849 <sup>NS</sup>	0,187 <sup>NS</sup>	0,009 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>
	N	0,508 <sup>NS</sup>	0,024 <sup>*</sup>	0,020 <sup>*</sup>	0,012 <sup>*</sup>	0,011 <sup>*</sup>	0,012 <sup>*</sup>	0,046 <sup>*</sup>
	I	0,669 <sup>NS</sup>	0,824 <sup>NS</sup>	0,133 <sup>NS</sup>	0,154 <sup>NS</sup>	0,009 <sup>**</sup>	0,366 <sup>NS</sup>	0,586 <sup>NS</sup>
IAF	S	0,414 <sup>NS</sup>	0,337 <sup>NS</sup>	0,612 <sup>NS</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,003 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>
	N	0,228 <sup>NS</sup>	0,008 <sup>**</sup>	0,001 <sup>**</sup>	0,001 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,001 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>
	I	0,091 <sup>NS</sup>	0,543 <sup>NS</sup>	0,110 <sup>NS</sup>	0,735 <sup>NS</sup>	0,087 <sup>NS</sup>	0,337 <sup>NS</sup>	0,005 <sup>**</sup>
MS	S	0,520 <sup>NS</sup>	0,725 <sup>NS</sup>	0,625 <sup>NS</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,002 <sup>**</sup>	0,007 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>
	N	0,209 <sup>NS</sup>	0,022 <sup>*</sup>	0,004 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,002 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>
	I	0,707 <sup>NS</sup>	0,911 <sup>NS</sup>	0,173 <sup>NS</sup>	0,611 <sup>NS</sup>	0,057 <sup>NS</sup>	0,716 <sup>NS</sup>	0,000 <sup>**</sup>
Senescente	S	-	-	0,432 <sup>NS</sup>	0,198 <sup>NS</sup>	0,637 <sup>NS</sup>	0,056 <sup>NS</sup>	0,033 <sup>*</sup>
	N	-	-	0,123 <sup>NS</sup>	0,076 <sup>NS</sup>	0,005 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>
	I	-	-	0,129 <sup>NS</sup>	0,994 <sup>NS</sup>	0,962 <sup>NS</sup>	0,460 <sup>NS</sup>	0,570 <sup>NS</sup>
ICR	S	0,346 <sup>NS</sup>	0,790 <sup>NS</sup>	0,385 <sup>NS</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,003 <sup>**</sup>	0,021 <sup>*</sup>	0,000 <sup>**</sup>
	N	0,265 <sup>NS</sup>	0,066 <sup>NS</sup>	0,299 <sup>NS</sup>	0,955 <sup>NS</sup>	0,067 <sup>NS</sup>	0,632 <sup>NS</sup>	0,699 <sup>NS</sup>
	I	0,887 <sup>NS</sup>	0,692 <sup>NS</sup>	0,123 <sup>NS</sup>	0,934 <sup>NS</sup>	0,229 <sup>NS</sup>	0,193 <sup>NS</sup>	0,950 <sup>NS</sup>

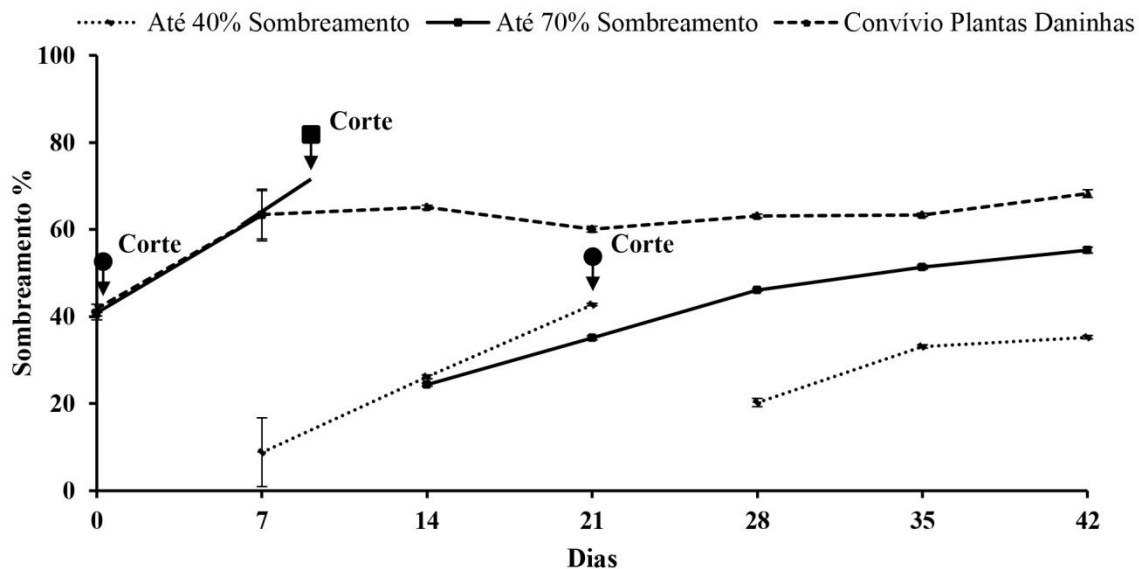
<sup>NS</sup> Diferença não significativa; <sup>\*\*</sup>p < 0,01; <sup>\*</sup>p < 0,05. S: Sombreamento; N: Nitrogênio e I: Interação entre nitrogênio e níveis de sombra. – indica que não houve material senescente de folha no período.



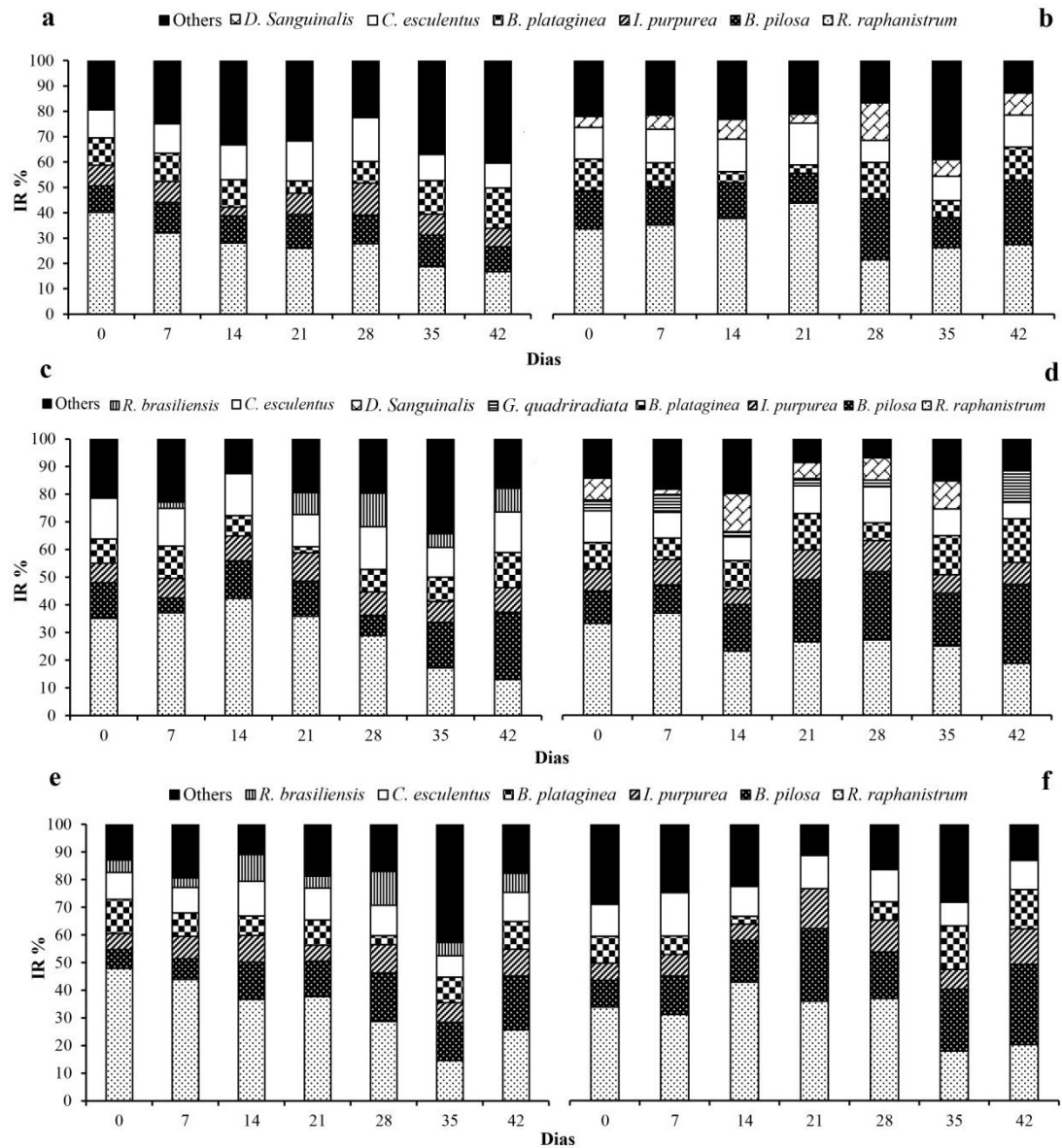
**Figura 1** Temperatura máxima, média, mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ) e precipitação média (mm) durante o período do experimento (Estação experimental do Instituto Tecnológico SIMEPAR, Pinhais, Paraná, Brasil).



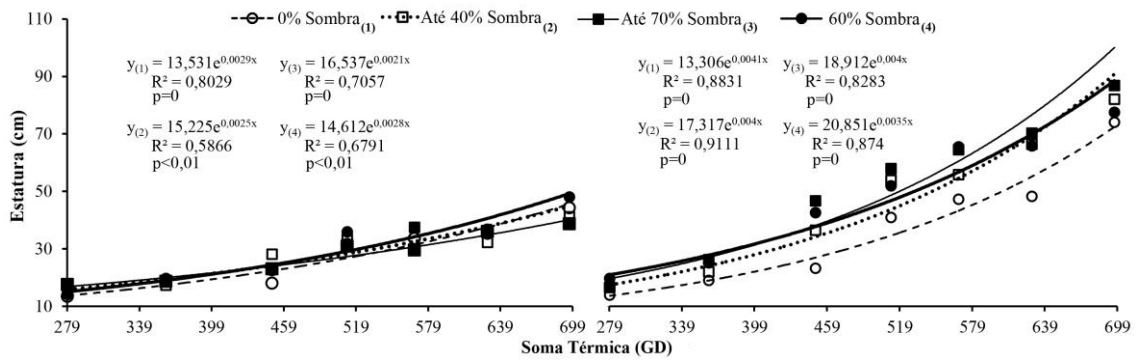
**Figura 2** Porcentagem de sombreamento provocado pelas plantas daninhas acima do dossel do *P. maximum* cv. Aries conforme os tratamentos adotados ao longo do tempo, sem a utilização de nitrogênio. O corte significa que foi alcançada a porcentagem desejada nos tratamentos (até 40% de sombreamento  $\blacktriangledown$  e até 70% de sombreamento  $\blacksquare$ ). No convívio com as plantas daninhas o sombreamento médio foi de 60%. A barra ( $\bar{\square}$ ) representa o desvio padrão calculada a cada sete dias e para cada tratamento de sombra.



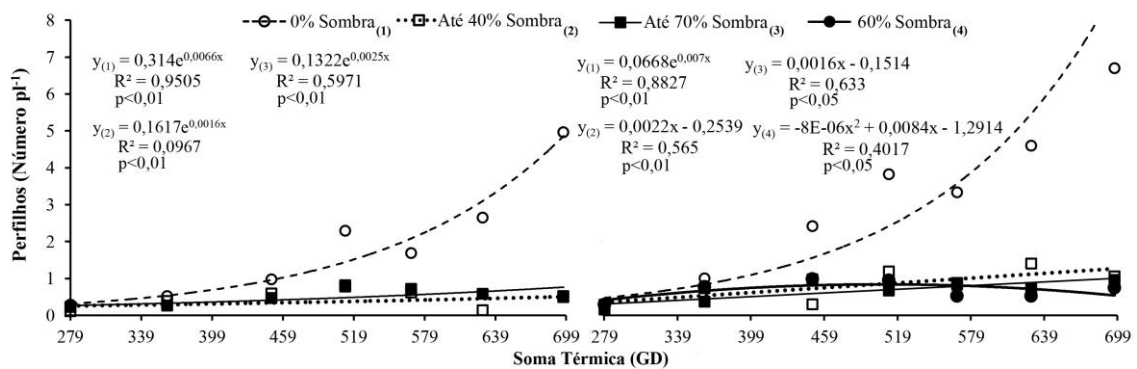
**Figura 3** Porcentagem de sombreamento provocado pelas plantas daninhas acima do dossel do *P. maximum* cv. Aries conforme os tratamentos adotados ao longo do tempo, com a utilização de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio. O corte significa que foi alcançada a porcentagem desejada nos tratamentos (até 40% de sombreamento  $\blacktriangledown$  e até 70% de sombreamento  $\blacksquare$ ). No convívio com as plantas daninhas o sombreamento médio foi de 60%. A barra ( $\bar{\Gamma}$ ) representa o desvio padrão calculada a cada sete dias e para cada tratamento de sombra.



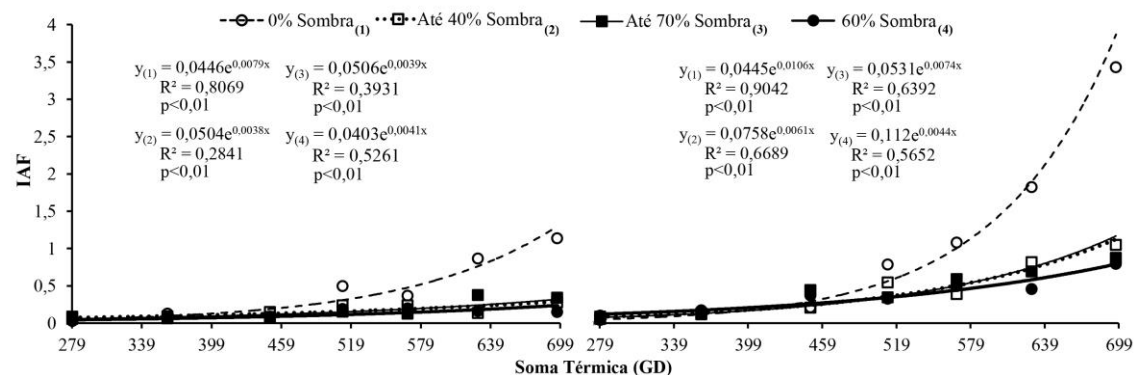
**Figura 4** Índice de importância relativa (IR) de cada espécie de plantas daninhas (acima de 10% de IR) nos tratamentos de até 40% de sombreamento com (a) e sem (b) nitrogênio, até 70% de sombreamento com (c) e sem (d) nitrogênio e 60% de sombreamento com (e) e sem (f) nitrogênio, a cada sete dias.



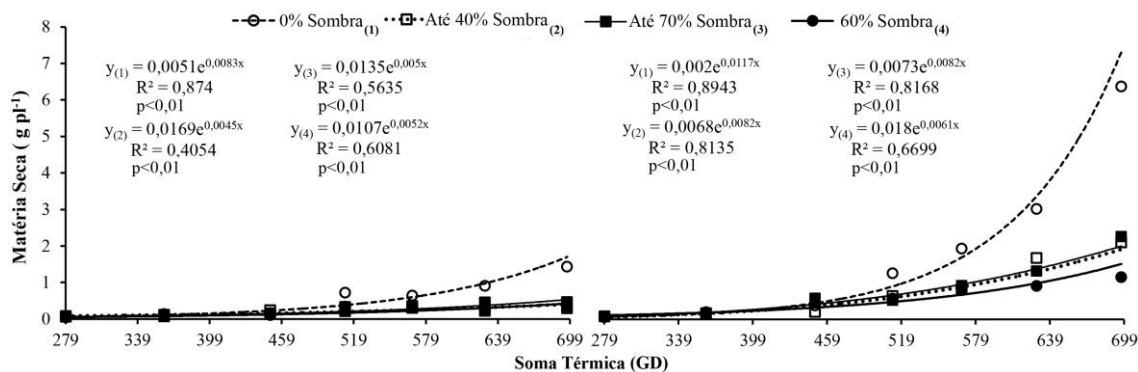
**Figura 5** Estatura (centímetros) média por planta do *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e das doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio).



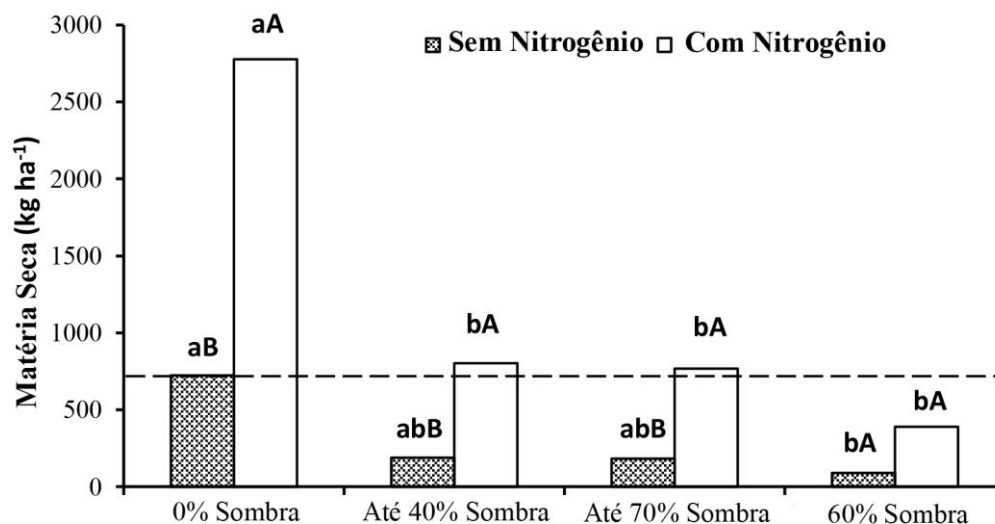
**Figura 6** Dinâmica no número de perfilhos por planta do *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e das doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio).



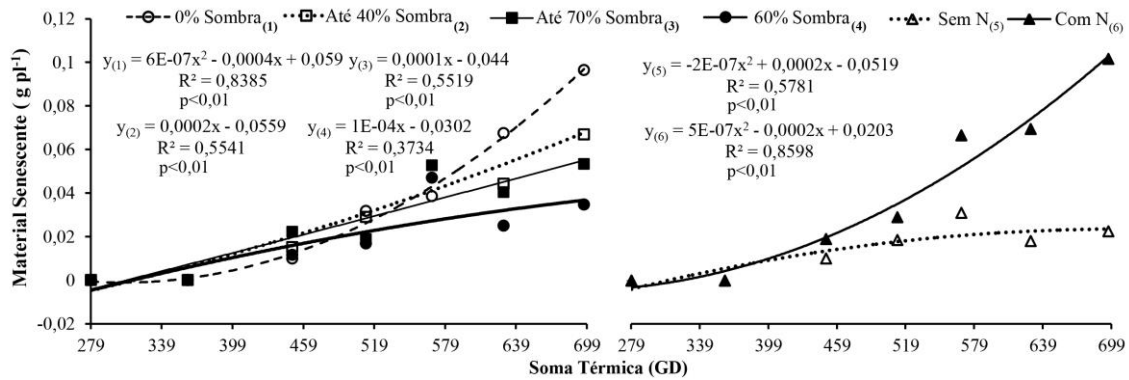
**Figura 7** Índice de área foliar (IAF) do *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e das doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio).



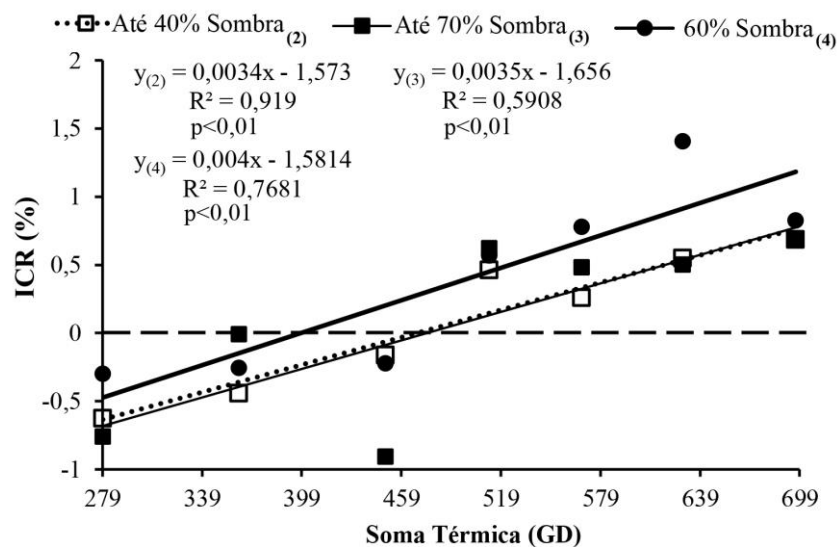
**Figura 8** Matéria seca por planta do *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de das nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio).



**Figura 9** Produção de matéria seca total (kg ha<sup>-1</sup>) de *P. maximum* cv. Aries no final do experimento em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio. Letras maiúsculas iguais não diferem entre si para os tratamentos com nitrogênio e letras minúsculas iguais não diferem entre si para os tratamentos de sombreamento ao nível de 1% de significância. A linha tracejada indica a máxima produtividade no tratamento sem plantas daninhas e sem nitrogênio.



**Figura 10** Material senescente (gramas) de folha por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro (à esquerda) e na condição de sem e com 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio (à direita).



**Figura 11** Intensidade de competição relativa (ICR) interespecífica por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro. Linha tracejada representa a condição sem a interferência das plantas daninhas (0% de sombreamento).

### 3. CAPÍTULO 2

Análise de crescimento de forrageira tropical sob interferência de plantas daninhas no estabelecimento<sup>2</sup>

#### Resumo

O trabalho teve como objetivo avaliar o estabelecimento do *Panicum maximum* cv. Aries em níveis de sombreamento variáveis ao longo do tempo e de nitrogênio, por meio da utilização de parâmetros fisiológicos. Os níveis de sombreamento provocados pelas plantas daninhas foram de 0%, até 40%, até 70% e 60% de sombreamento, sem e com a utilização de 200 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Foram analisadas produção de matéria seca, taxa de crescimento absoluto (TCA), taxa de assimilação líquida (TAL), taxa de crescimento relativo (TCR), área foliar específica (AFE) e relação de área foliar (RAF). O aumento da produção foi proporcionado pela adubação nitrogenada, em resposta aos aumentos na TCA, TAL, TCR e RAF. Contudo o sombreamento provocado pelas plantas daninhas promoveu diminuição na TCA, TCR, TAL, RAF, comparado ao 0% de sombreamento. Em condição de sombreamento variável no tempo e nitrogênio a TCA, TCR e TAL apresentaram maiores taxas comparado ao sombreamento de 60%. Quando não realizado adubação nitrogenada a TAL e TCR nos tratamentos de até 40% e 60% de sombreamento foi observado valores negativos na fase final do experimento.

**Palavras Chave:** *Panicum maximum* cv. Aries, sombreamento, nitrogênio, ecofisiologia e competição interespecífica.

#### Introdução

Gramshaw et al., (1993) definiu estabelecimento de pastagem como, fases que são acompanhadas de uma sequência de germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas, que permitem a persistência das espécies introduzidas.

A performance de uma planta é dependente das condições onde se desenvolve, dessa forma a resposta será variável em condição de comunidade ou de crescimento livre. Em condição de restrição de recursos (competição) muitas espécies têm aumento do potencial competitivo comparado em uma condição de normal desenvolvimento. O processo competitivo é governado por três principais fatores: densidade, distribuição espacial e o tempo relativo de emergências de todas as plantas de um local (Håkansson, 2003).

---

<sup>2</sup> Formatação elaborada conforme as normas da revista *Grass and Forage Science*, porém o texto está redigido em português.

Na competição interespecífica em uma comunidade vegetal, a resposta é dependente das condições momentâneas, influenciando nas diversas características estruturais de captura de recursos e produtivas das plantas (Capítulo 1).

Dessa forma, são importantes no estudo de uma comunidade vegetal, a compreensão da dinâmica nas interações interespecíficas e elucidar os mecanismos competitivos que determinam o crescimento dos indivíduos ao longo do tempo, proporcionando melhor entendimento das associações ontogênicas com ambiente nas respostas fenotípicas (Park et al., 2003). Essas respostas juntamente com a taxa de crescimento vegetal representam a produção de biomassa de uma pastagem (Martiniello and Da Silva, 2011).

A análise de crescimento de plantas, segundo Hunt (2003), refere-se ao uso de métodos quantitativos que descrevem e interpretam o desenvolvimento em condições adversas, independentemente se são de característica natural, seminatural ou em condições controladas.

Assim, algumas taxas são utilizadas para entender o crescimento, sendo elas: Taxa de assimilação líquida (TAL), que representa a eficiência fotossintética das plantas (Vernon and Allison, 1963, Lambers et al., 2008); a taxa de crescimento relativo (TCR), uma medida de eficiência de crescimento da planta, que refere-se a taxa de produção de nova matéria seca com por unidade de matéria seca já existente; a taxa de crescimento absoluto (TCA), definido como o aumento de material da planta por unidade de tempo, indicando a velocidade do crescimento (Radford, 1967, Lambers et al., 2008). A área foliar específica (AFE) reflete a área foliar disponível para a interceptação da luz por unidade de massa investida em folha e a relação de área foliar (RAF) reflete a capacidade fotossintética de uma planta (Useche and Shipley, 2010, Lambers et al., 2008, Hunt, 2003).

Na competição, a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) é um dos principais fatores que devem ser analisados, pois estão ligados a diversas respostas vegetais (Park et al., 2003, Håkansson, 2003). Dessa forma o sombreamento desencadeia resposta de fuga a sombra, diminuição fotossintética como também a influência concomitante entre os dois fatores na resposta competitiva (Gommers et al., 2013, Loomis and Amthor, 1999, Li et al., 2014, Verkroost and Wassen, 2005).

O nitrogênio é um importante elemento que desempenha funções estruturais, de desenvolvimento e principalmente na atividade fotossintética dos vegetais,

influenciando positivamente nas taxas de crescimento (Kumar and Singh 2001, Lopes et al., 2011, Deiss et al., 2014, Gastal and Lemaire, 2002).

O objetivo do trabalho foi avaliar o estabelecimento do *Panicum maximum* cv. Aries em condição de sombreamento variável ao longo do tempo proporcionado por plantas daninhas e níveis de nitrogênio, por meio da utilização de parâmetros fisiológicos.

## Material e Métodos

O experimento foi realizado na Fazenda Experimental Cangüiri da Universidade Federal do Paraná – UFPR, localizada no município de Pinhais, Paraná, onde o clima da região é o cfb, sem estação seca, com verões frescos e inverno moderado, conforme a classificação de Köppen, em altitude de aproximadamente de 900 m e com precipitação média anual de 1400 a 1600 mm; localizada a 25°26'41" de latitude Sul e 49°11'33" de longitude Leste (Caviglione, et al., 2000). A temperatura e precipitação média no período do experimento são apresentadas da Figura 1.

A semeadura do *P. maximum* cv. Aries foi realizada em linha espaçada por 0,17 m na data de 13 de janeiro de 2013 na densidade de 9 kg ha<sup>-1</sup>, após preparo do solo com cultivo mínimo (uma gradagem). Verificou-se que houve variação de 28 a 60 plantas m<sup>-2</sup> no experimento. Foram aplicados 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sulco de semeadura e 180 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O a lanço. O período do experimento foi realizado de 18 de fevereiro a 08 de abril de 2013, ou seja, na fase de estabelecimento do *P. maximum* cv Aries, que foi considerado nesse experimento o período da semeadura até o nível de 95% de interceptação luminosa da forrageira, para a utilização da pastagem após o inverno.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) no esquema fatorial 4x2 com quatro repetições constituídos de parcelas de 5x2,5 m, avaliando quatro níveis de sombreamento e aplicação de nitrogênio. A porcentagem de sombreamento que as plantas daninhas promoveram sobre o estabelecimento da *P. maximum* cv. Aries foi determinada sem a interferência das plantas daninhas (testemunha – 0% sombreamento); até 40% de sombreamento; até 70% de sombreamento e convívio total com as plantas daninhas durante o período do experimento, que se obteve sombreamento médio de 60% (Figuras 1 e 2).

O segundo fator avaliado foi a influência ou não da adubação nitrogenada, na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de ureia com aplicação única a lanço, quando as

plantas estavam com quatro folhas. Conforme a análise do solo (Tabela 1), o solo apresentou 7,24% e 6,24% de matéria orgânica ( $[C_{\text{orgânico}} \times 1,74] / 10$ ) de 0,00 a 0,10 m e de 0,10 a 0,20 m de profundidade, respectivamente.

Para avaliação do sombreamento foi utilizado o aparelho Ceptômetro (a partir da determinação da radiação fotossinteticamente ativa - RFA), sendo realizadas cinco medições por parcela a cada sete dias, a porcentagem de sombreamento acima do dossel forrageiro e abaixo do dossel da comunidade de plantas daninhas. Quando encontrada a porcentagem de sombreamento desejada (até 40% e até 70%), realizou-se a roçada, com uma roçadeira costal, cortando somente a porção acima da altura das plantas de *P. maximum* cv. Aries, ou seja, cortando a porção das plantas daninhas que estavam acima do dossel forrageiro e que por sua vez não afetava as plantas de Capim Aries. No convívio total com as plantas daninhas não foi realizado nenhum corte ao longo do tempo (Figuras 2 e 3).

Na condição de sem a interferência das plantas daninhas foi realizado a retirada manual das plantas, antes da adubação de cobertura, deixando somente o *P. maximum* cv. Aries nas parcelas.

As avaliações foram realizadas a cada sete dias, onde coletou matéria seca por planta, e a área foliar do *P. maximum* cv. Aries. Dessa forma calculou-se as taxas de crescimento utilizando valores estimados da produção de matéria seca, baseado na soma térmica (Russelle et al., 1984), como: taxa de crescimento relativo (TCR) (Hoffmann and Poorter, 2002), taxa assimilatória líquida (TAL) (Vernon and Allison, 1963), taxa de crescimento absoluto (TCA), razão de área foliar (RAF) e área foliar específica (AFE) (Hunt, 2003), Equações 1, 2, 3, 4 e 5 respectivamente.

$$TCR = \frac{\ln MS_2 - \ln MS_1}{t_2 - t_1} \quad (1) \quad TAL = \frac{(MS_2 - MS_1)(\ln A_2 - \ln A_1)}{(t_2 - t_1)(L_2 - L_1)} \quad (2) \quad TCA = \frac{MS_2 - MS_1}{t_2 - t_1} \quad (3)$$

$$RAF = \frac{A}{MS} \quad (4) \quad AFE = \frac{A}{F} \quad (5)$$

Onde  $MS_1$  e  $MS_2$  representam matéria seca por planta e  $A_1$  e  $A_2$  representam área foliar por planta, no tempo 1 ( $t_1$ ) e tempo 2 ( $t_2$ ) respectivamente. O  $\ln$  representa logaritmo neperiano e o  $F$  é a matéria seca de folha por planta.

Realizou-se o levantamento fitossociológico das plantas daninhas quantificando-se o número de espécies, densidade por espécies e matéria seca das plantas na amostra

para o cálculo de Importância Relativa (IR) (Mueller-Dombois e Ellenberg, 1974) (Equações 2 e 3), com a finalidade de caracterização das espécies competidoras e poder de sombreamento.

Foram encontradas diversas espécies de plantas daninhas com distribuição desuniforme nas parcelas, porém com a finalidade de filtro, utilizaram-se somente as espécies que tiveram IR maior que 10% em cada tratamento (Figura 4). Todas as espécies encontradas no experimento foram: *Raphanus raphanistrum*, *Bidens pilosa*, *Ipomoea* sp., *Euphorbia heterophylla*, *Brachiaria plataginea*, *Cyperus esculentus*, *Galinsoga parviflora*, *Cynodon dactylon*, *Digitaria horizontalis*, *Richardia brasiliensis*, *Eleusine indica*, *Sida rhombifolia*, *Avena strigosa*, *Oxalis latifolia*, *Rumex obtusifolius*, *Vicia sativa*, *Setaria geniculata*, *Plantago tomentosa*, *Gnaphalium spicatum*, *Aipium leptophyllum* e *Oxalis corniculata*.

$$IR = \frac{IVI}{IVIs} \quad (6) \quad IVI = DR + FR + DoR \quad (7)$$

Onde IR representa a importância relativa, IVI é o índice de valor de importância de cada espécie, IVIs é índice de valor de importância de todas as espécies, DR é densidade relativa, FR é frequência relativa e DoR é a dominância relativa.

Para cada coleta utilizou-se amostras de 0,25m<sup>2</sup> na forma sistêmica dentro das parcelas (sete amostras por parcela), onde se realizou as avaliações do *P. maximum* cv. Aries e das plantas daninhas. Para a massa de matéria seca foi acondicionado em sacos de papel e secas em estufas de aquecimento e secas em estufas até atingir peso constante. A área foliar foi determinada através de uma porcentagem representativa da amostra total e estimado com o software WinRhizo®.

A soma térmica (ST) foi calculada utilizando a soma da temperatura média diária menos a temperatura base, expressada em graus dias, e no experimento utilizou-se 10°C como temperatura base (Moreno et al., 2014, Bonhomme, 2000). Durante o experimento a temperatura mínima foi sempre maior que a temperatura base (Figura 1), dessa forma utilizou-se a Equação 8 para calcular a soma térmica.

$$ST = \Sigma Tm - Tb \quad (8)$$

Onde ST é a soma térmica, Tm é temperatura média diária Tb é a temperatura base.

Os dados de matéria seca do *P. maximum* cv. Aries foram submetidos a testes de homogeneidade de variâncias e normalidade de resíduos. E então realizadas análises de variância (ANOVA), regressão e correlação (Person), através da utilização do programa estatístico Statistica. Os resultados da ANOVA podem ser visualizados na Tabela 2.

## **Resultados**

### **Produção de Matéria Seca**

A produção de massa seca foi influenciada pela interação entre os fatores sombreamento e nitrogênio na soma térmica de 696,65 GD (Tabela 2).

O comportamento da curva da produção de matéria seca ao longo do tempo, para todos os tratamentos, foi exponencial. Assim, no período do experimento não foi alcançado os 95% de interceptação luminosa pelo dossel do *P. maximum* cv. Aries, na condição de 0% de sombreamento.

O aumento da produção de matéria seca do *P. maximum* cv. Aries no 0% de sombreamento iniciou nos 449,50 GD. Nos 696,65 GD os tratamentos de 0% de sombreamento, até 40% de sombreamento e até 70% de sombreamento com adubação nitrogenada, foram estatisticamente diferentes, obtendo assim maior média de matéria seca por planta. Na condição de adubação nitrogenada foi verificado que houve diferença significativa somente entre sem interferência e com a interferência das plantas daninhas. Sem adubação a diferença significativa foi somente entre 0% de sombreamento e 60% de sombreamento (Figura 5).

Para o detalhamento da produção de matéria seca utilizou-se a análise de crescimento. Em todas as taxas de crescimento a condição de sem a interferência de plantas daninhas será considerado como uma condição normal de crescimento (comportamento normal da curva), contudo analisado em duas condições com e sem a utilização no nitrogênio.

### **Taxa de Crescimento Absoluto (TCA)**

Na condição de desenvolvimento normal a TCA foi maior em comparação aos outros tratamentos, ocorrendo aumento a partir da soma térmica de 449,50 GD. Contudo o nitrogênio teve influência positiva no aumento da taxa dos tratamentos (Figura 6).

Dessa forma quando utilizado nitrogênio a TCA nos tratamentos de sombra variável (até 40 e 70% de sombreamento) não foi verificado diferença entre eles. Porém

no 60% de sombreamento obteve-se a menor TCA, sendo que a partir dos 449,50 GD houve pequeno aumento comparado aos outros tratamentos. Nesse mesmo período o aumento foi de 0,027 g GD<sup>-1</sup> no 0% de sombreamento, 0,00620 g GD<sup>-1</sup> para até 40% de sombreamento e 0,006 g GD<sup>-1</sup> por planta para até 70% de sombreamento.

Sem a presença do nitrogênio não houve diferença entre os tratamentos até 40% de sombreamento e 60% de sombreamento, sendo que estes a partir dos 449,50 GD teve um comportamento decrescente, com valores de TCA negativos nos 628,45 GD e 696,65 GD. Para o até 70% de sombreamento, sob a mesma condição, houve acréscimo na TCA ao longo do tempo, porém pouco acentuado com 0,001 g GD<sup>-1</sup> nos 449,50 GD e 0,002 g GD<sup>-1</sup> por planta nos 696,65 GD.

### **Taxa de crescimento relativo (TCR)**

O comportamento da curva do desenvolvimento normal da TCR com nitrogênio foi de maneira crescente até a soma térmica nos 361,25 GD (TCR máxima), sendo que posteriormente a essa fase o comportamento foi decrescente (Figura 7). Para os tratamentos sombreados, na mesma condição, a TCR foi menor comparado a 0% de sombreamento, sendo que o comportamento dos tratamentos com sombra variável (até 40% e 70% de sombreamento) foi muito parecido e com pequena diferença entre elas, com uma diferença média de 0,0004 g g<sup>-1</sup> GD<sup>-1</sup> por planta dos 279,30 GD aos 628,45 GD para até 40% de sombreamento. Nos 696,65 GD essa diferença caiu para 0,0001 g g<sup>-1</sup> GD<sup>-1</sup> por planta. Nos 60% de sombreamento, houve uma TCR máxima maior comparada com os tratamentos com sombreamento variável até os 361,25 GD. Posterior a essa soma térmica, ocorreu decréscimo da TCR, se mantendo abaixo dos outros tratamentos.

Sem a condição da adubação nitrogenada, o comportamento da curva do tratamento 0% de sombreamento manteve-se linear até os 449,50 GD, posterior a essa fase ocorreu o declínio da TCR, contudo se mantendo acima dos outros tratamentos. Para até 40% de sombreamento a TCR máxima (até 361,25 GD) foi maior do que 0% de sombreamento, porém posteriormente a essa fase ocorreu declínio acentuado, de 0,020 g g<sup>-1</sup> GD<sup>-1</sup> por planta até os 449,50 GD. Assim o comportamento decrescente continuou ao longo do tempo, sendo que nos 628,45 GD e 696,65 GD a TCR foi negativa.

Para o tratamento de 60% de sombreamento o comportamento foi linear até os 361,25 GD, posteriormente a essa fase houve o declínio da TCR, acompanhando o

comportamento da curva do até 40% de sombreamento a partir dos 511,95 GD, ou seja, com valores da TCR negativos para os 628,45 GD e 696,65 GD.

Já para até 70% de sombreamento o comportamento da curva foi decrescente até o final do experimento, porém com TCR superior que até 40% de sombreamento e o 60% de sombreamento a partir dos 511,95 GD.

Não foi verificada correlação significativa para da TCR com a TAL, AFE e RAF para os tratamentos 0% de sombreamento, com e sem nitrogênio, e para até 40% de sombreamento e 60% de sombreamento com nitrogênio.

Sem adubação houve correlação entre TCR e TAL para até 40% de sombreamento ( $R = 0,888$ ;  $p < 0,01$ ) e 60% de sombreamento ( $R = 0,901$ ;  $p < 0,01$ ). Para até 70% de sombreamento houve correlação entre TCR e AFF ( $R = 0,895$ ;  $p < 0,01$ ) e TCR e RAF ( $R = 0,927$ ;  $p < 0,01$ ). Para até 70% de sombreamento com nitrogênio, houve correlação entre TCR e RAF ( $R = 0,983$ ;  $p < 0,01$ ).

### **Taxa de assimilação líquida (TAL)**

O comportamento normal para a TAL foi crescente até a soma térmica de 449,50 GD, posterior ocorreu o declínio. A diferença entre o tratamento que recebeu nitrogênio e o que não recebeu, está principalmente na TAL máxima nos 449,50 GD. Dessa forma a TAL foi de  $0,013 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  com nitrogênio e  $0,006 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  por planta sem nitrogênio. Nos 696,65 GD a TAL foi de  $0,00548 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  e  $0,002 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  por planta para com e sem nitrogênio respectivamente (Figura 8).

Na condição com adubação nitrogenada os tratamentos até 40% de sombreamento e 60% de sombreamento tiveram comportamentos bastante parecidos, ou seja, com uma fase crescente até os 361,25 GD e posteriormente uma fase decrescente. Contudo para até 70% de sombreamento houve três fases ao longo do tempo. Uma fase crescente até os 362,25 GD, uma fase decrescente até os 511,95 GD e uma fase de leve crescente até os 696,65 GD, aumentando  $0,0001 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  por planta.

Para até 40% de sombreamento a TAL máxima foi de  $0,00592 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$ ,  $0,00443 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  para até 70% de sombreamento e  $0,00552 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  por planta para o 60% de sombreamento. A TAL final para esses mesmos tratamentos foram de  $0,0003 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$ ,  $0,003 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  e  $0,001 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  por planta respectivamente.

Sem adubação nitrogenada os tratamentos até 40% de sombreamento e 60% de sombreamento tiveram o mesmo comportamento, porém com TAL de  $0,00880 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  e  $0,00446 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  por planta respectivamente nos 361,25 GD. Nos 449,50 GD

eles se igualaram, sendo que nos 628,45 GD e 696,65 GD a TAL foi negativa para os dois.

Para até 70% de sombreamento a fase crescente foi até os 449,50 GD com  $0,003 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  por planta, sendo decrescente até os 696,65 GD, com  $0,0002 \text{ g cm}^{-2} \text{ GD}^{-1}$  por planta.

### **Área Foliar Específica (AFE)**

O comportamento normal da AFE, com e sem nitrogênio, foram semelhantes, porém com maiores valores quando adubado com nitrogênio (Figura 9). A AFE expressa o desenvolvimento das folhas na planta. No início, havia maior área foliar em relação à quantidade de massa de folíolos, ao longo do tempo houve o aumento da iniciação de novas folhas, diminuindo assim a relação. A partir dos 361,25 GD pode ter ocorrido alongação das folhas, aumentando assim a área foliar e a AFE, sendo que a partir 628,45 GD verificou-se a diminuição da AFE.

Com nitrogênio, para os tratamentos até 70% de sombreamento e 60% de sombreamento, o aumento da AFE ocorreu até os 449,50 GD e para até 40% de sombreamento o aumento ocorreu mais tarde, aos 511,95 GD. Posteriormente houve a diminuição da AFE para ambos (Figura 9).

Sem a adubação nitrogenada até 40% de sombreamento e 60% de sombreamento a AFE aumentou até 449,50 GD e posteriormente houve do declínio da curva, sendo que para o primeiro essa diminuição foi mais acentuada. Para até 70% de sombreamento ocorreu a diminuição da AFE até 449,50 GD, onde posteriormente ocorreu aumento.

### **Razão de Área Foliar (RAF)**

O nitrogênio influenciou positivamente no aumento da RAF (Figura 10). Nessa condição, os tratamentos com sombreamento apresentaram comportamento semelhante ao longo do tempo. Dessa forma verificou-se que as maiores médias ocorreram nos tratamentos com até 70% de sombreamento, seguido de 60% de sombreamento e até 40% de sombreamento. Ao final do experimento a RAF para esses tratamentos se igualaram. No 0% de sombreamento, com nitrogênio, a RAF foi maior que os demais tratamentos a partir da soma térmica de 567,80 GD.

Na condição sem adubação nitrogenada foi observado que houve diferenças entre os tratamentos a partir dos 361,25 GD. Dessa forma, a RAF foi maior para sem a

interferência das plantas daninhas, seguido sem o convívio com as plantas daninhas e até 40% e até 70% de sombreamento não diferiram.

### **Plantas Daninhas**

As diferentes espécies encontradas no experimento (Figura 4) promoveram diversos extratos de dosséis, principalmente relacionados aos portes (tamanho) de cada espécie.

Com o IR podemos verificar que a predominância deu-se a *Raphanus raphanistrum* e *Bidens pilosa*, estas promovendo o sombreamento, principalmente, acima do dossel do *P. maximum* cv. Aries (Figuras 2 e 3), mesmo realizando os cortes (Capítulo 1).

### **Discussões**

As diferenças das respostas na produção de massa de matéria seca entre os tratamentos podem ser melhores compreendidas quando observadas as taxas da análise de crescimento. O comportamento normal observado no experimento, no 0% de sombreamento, foi influenciado pela adubação nitrogenada (Figura 5).

O nitrogênio proporciona melhores condições estruturais da planta (Capítulo 1) que aumentam a capacidade de captação da radiação solar por meio do incremento do IAF (Kellogg, 2013, Capítulo 1). Plantas de metabolismo  $C_4$  são responsivas fotossinteticamente com o aumento da disponibilidade da RFA, pois apresenta baixo ponto de compensação à luz, comparado com as  $C_3$  (Kellogg, 2013), condição que favorece a fotossíntese líquida.

A quantidade disponível de RFA foi superior nas plantas no 0% de sombreamento, conferindo aumento da TCA (Figura 6), assim houve também aumento RAF (figura 10), refletindo na maior capacidade de interceptação da luz pelas plantas (Capítulo 1).

A TCA é dependente da TAL (Figura 8) (Lambers et al., 2008), dessa forma a TCA obteve uma resposta crescente ao longo do tempo (Figura 6), principalmente a partir dos 361,25 GD e 511,95 GD sem e com nitrogênio respectivamente, provavelmente em resposta ao aumento da RAF (Figura 10).

A TAL máxima na condição de 0% de sombreamento pode ser explicado com a AFE (Figura 11). Uma relação de área foliar maior que a massa de folhas (folhas maduras), principalmente no início do desenvolvimento, permite maior capacidade

fotossintética das plantas (Loomis and Amthor, 1999), fato que é mais pronunciado em função da quantidade de nitrogênio.

A diminuição da TAL, visualizada ao longo do tempo (Figura 8), está ligada com o avanço do desenvolvimento das plantas, que provavelmente ocorre devido ao aumento da senescência, idade média das folhas, aliado ao auto sombreamento das folhas inferiores, reduzindo assim a eficiência fotossintética (Gastal and Lemaire, 2002, Capítulo 1).

O efeito positivo do nitrogênio na TAL (Figura 8) deve-se ao aumento da produção de pigmentos responsáveis pela fotossíntese, principalmente clorofilas, produção de RUBISCO, de complexos de proteínas nos tilacóides e enzimas (Lawlor, 2002, Gastal and Lemaire, 2002, Lambers et al., 2008, Gastal and Nelson, 1994). No entanto em condição contrária, ou seja, de deficiência, os cloroplastos sofrem alterações no tamanho e composição (Lawlor, 2002), e menor capacidade de captura da luz (Figura 10), fatores que podem ter proporcionado as diferenças na TAL com e sem nitrogênio (Figura 8).

A TCR no 0% de sombreamento foi afetada pelo nitrogênio, ou seja, sem a adubação nitrogenada a TCR máxima foi menor e o declínio da curva foi mais acentuado ao longo do tempo (Figura 7). Resultados que concordam com o trabalho de Useche and Shipley (2010) que estudaram a restrição de nitrogênio no tempo. Nessas condições a não correlação com a TAL, AFE e RAF, pode indicar que a influência não deve estar ligada a um fator predominante, ou seja, a resposta pode estar ligada a vários fatores fisiológicos como também morfológicos (Capítulo 1).

O sombreamento provocado pelas plantas daninhas (Figuras 2 e 3) está ligado às grandes taxas de crescimentos que essas espécies apresentam (De Ribou et al., 2013), mesmo quando realizada o corte acima do dossel forrageiro.

A restrição da radiação luminosa pelas plantas daninhas no *P. maximum* cv. Aries influenciaram diretamente na TCA e TAL, pois sob condições de sombreamento as folhas apresentam diminuição da densidade estomática, da espessura da folha, da área de seção transversal do feixe vascular, da área de contato das células da bainha e das proteínas funcionais, decréscimo da absorção e transporte de CO<sub>2</sub> na bainha do feixe vascular e menor taxa de transporte de elétrons, havendo menor produção de ATP e NADPH (Li et al., 2014), características que têm forte interferência na eficiência fotossintética.

Aliado a isso, houve uma tendência de desenvolvimento de novas folhas mais tardiamente, comparada à sem interferência de plantas daninhas (Figura 9), indicando que houve a predominância de folhas velhas, ou seja, menor eficiência fotossintética (Gastal and Lemaire, 2002).

Dessa forma a TAL negativa observada nas condições de até 40% de sombreamento e 60% de sombreamento (Figura 8), indica que houve no final do experimento maiores taxas respiratórias em relação às taxas fotossintéticas, que provavelmente está relacionado aos fatores citados acima e o tempo de sombreamento das folhas (figuras 2 e 3). A TAL máxima do tratamento até 40% de sombreamento (361,25 GD) pode ter ocorrido devido ao aumento da disponibilidade momentânea da radiação, promovida pelo corte das plantas daninhas (Figura 1).

Na condição de até 70% de sombreamento, pode ter havido maior tempo de exposição das folhas superiores do dossel na radiação ou menor sombreamento (uma relação com estatura), o que proporcionou melhor condição para uma TAL positiva (Figura 8) (Capítulo 1). Nessas condições as regiões da folha com maior exposição à radiação tende a conter maior teor de nitrogênio, que por consequência são regiões com maior taxa fotossintética (Lambers et al., 2008).

A menor TCA em condições de sombreamento está ligada a RAF, pois menor área foliar também se tem menor produção em função da fotossíntese, refletindo na menor velocidade de crescimento.

A correlação da TCR com a TAL para até 40% de sombreamento sem nitrogênio pode estar relacionada com ao aumento instantâneo da fotossíntese no momento do corte das plantas daninhas. Ao longo do tempo com a diminuição da TAL (final do experimento TAL negativa) fez com que para até 40% de sombreamento e o 60% de sombreamento, houvesse diminuição acentuada da TCR (Figura 7). Nessas condições (baixo nitrogênio), grande parte do nitrogênio absorvido, está atrelada a atividade fotossintética (Verkroost and Wassen, 2005). A TCR negativa para esses dois tratamentos representa aumento na taxa de senescência foliar nas duas últimas avaliações.

A menor TCR para até 70% de sombreamento, sem adubação nitrogenada, está ligada ao comportamento da curva de AFE, possivelmente em função da menor taxa de expansão foliar (Figura 9). Atuando, dessa forma, como uma estratégia de economia em produção de área foliar (Lambers et al., 2008), em resposta ao sombreamento e menor disponibilidade de nitrogênio.

Na condição de sombra a diminuição da TCR e o aumento da AFE de algumas espécies pode indicar tolerância ao sombreamento, mas que estão associados às menores respostas morfológicas de sinalização da qualidade da luz (Gommers et al., 2013).

A correlação entre TCR e RAF, para o mesmo tratamento, pode estar relacionada à produção de área foliar para o aumento da capacidade de captação de luz concomitante com efeito do tamanho de folha na estatura final das plantas (Capítulo 1).

A maior disponibilidade de nitrogênio, no efeito da competição com as plantas daninhas, tem grande influência sobre características morfológicas e estruturais (Verkroost and Wassen, 2005), o que torna essa resposta da TCR de caráter bastante complexo, principalmente em uma condição não homogênea espacial e temporal.

### **Conclusão**

O aumento da produção foi proporcionado pela adubação nitrogenada, em resposta aos aumentos na TCA, TAL, TCR e RAF. Contudo o sombreamento provocado pelas plantas daninhas promoveu diminuição na TCA, TCR, TAL, RAF, comparado ao 0% de sombreamento. Em condição de sombreamento variável no tempo e nitrogênio a TCA, TCR e TAL apresentaram maiores taxas comparado ao sombreamento de 60%. Quando não realizado adubação nitrogenada a TAL e TCR nos tratamentos de até 40% e 60% de sombreamento foi observado valores negativos na fase final do experimento.

### **Agradecimentos**

O presente estudo foi financiado pela CAPES por meio da bolsa de pós-graduação e os dados climáticos foram fornecidos pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR.

## Referências Bibliográficas

- BONHOMME R. (2000) Bases and limits to using 'degree.day' units. *European Journal of Agronomy*, **13**, 1–10. DOI: 10.1016/S1161-0301(00)00058-7.
- CAVIGLIONE J.H., KIIHL, L.R.B., CARAMORI P. H. and OLIVEIRA D. Cartas climáticas do Paraná. Londrina : IAPAR, 2000. CD.
- DEISS L., MORAES A., PELISSARI A. NETO S. F., OLIVEIRA E. B. and PORFÍRIO DA SILVA V. (2014) Oat tillering and tiller traits under different nitrogen levels in an eucalyptus agroforestry system in Subtropical Brazil. *Ciência Rural*, **44**, 71-78. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782014000100012>.
- DE RIBOU S.B., DOUAM F., HAMANT O., FROHLICH M.W. and NEGRUTIU I. (2013) Plant science and agricultural productivity: Why are we hitting the yield ceiling? *Plant Science*, **210**, 159– 176. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782014000100012>.
- GASTAL F. and LEMAIRE G. (2002) N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, **53**, 789–799. DOI: 10.1093/jexbot/53.370.789.
- GASTAL F. and NELSON C.J. (1994) Nitrogen Use within the Growing Leaf Blade of Tall Fescue. *Plant Physiology*, **105**, 191-197. DOI: <http://dx.doi.org/10.1104/pp.105.1.191>.
- GOMMERS, C.M.M., VISSER E.J.W., ONGER K.R.S., VOESENEK L.A.C.J. and PIERIK R. (2013) Shade tolerance: when growing tall is not an option. *Trends in Plant Science*, **18**, 65-71. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tplants.2012.09.008>.
- GRAMSHAW D., MCKEON G.M. and CLEM R.L. (1993) Tropical pasture establishment. 1. A systems perspective of establishment illustrated by legume oversowing in the subtropics. *Tropical Grassland*, **27**, 261-275.
- HÅKANSSON S. (2003) Competition in Plant Stands of Short Duration In: Håkansson, S. *Weeds and weed management on arable land: An ecological approach*, CAB international, 81-117.
- HOFFMANN W.A. and POORTER H. (2002) Avoiding bias in calculation of relative growth rate. *Annals of Botany*. **80**, 37-42. DOI: 10.1093/aob/mcf140.
- HUNT R. (2003) Growth analysis, individual plants. In: THOMAS B., MURPHY D.J. and MURRAY D. *Encyclopedia of Applied Plant Science*, 588-596.
- KELLOGG E. A. (2013) C<sub>4</sub> photosynthesis. *Current Biology*, **23**, 594-599. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2013.04.066>.

- KUMAR S.N. and SINGH C.P. (2001) Growth analysis of maize during long and short duration crop seasons: influence of nitrogen source and dose. *Indian Journal of Agricultural Research*, **35**, 13-18.
- LAMBERS H., CHAPIN III F.S. and PONS T.L. (2008) Plant Physiological Ecology. *Springer*, **Second edition**, 605.
- LAWLOR D.W. (2002) Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of Experimental Botany*, **53**, 773–787. DOI: 10.1093/jexbot/53.370.773.
- LI T., LIU L-N., JIANG C-D., LIU Y-J. and SHI L. (2014) Effects of Mutual Shading on the Regulation of Photosynthesis in Field-Grown Sorghum. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2014.04.022>.
- LOOMIS R.S and AMTHOR J.S. (1999) Yield Potential, Plant Assimilatory Capacity, and Metabolic Efficiencies. *Crop Science*, **39**, 1584–1596. DOI: 10.2135/cropsci1999.3961584x.
- LOPES M.N., POMPEU R.C.F.F., CÂNDIDO M.J.D, DE LACERDA C.F., DA SILVA R. G. and FERNANDES F.R.B. (2011) Growth index in massai grass under different levels of nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **40**, 2666-2672. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011001200008>.
- MARTINIELLO P. and DA SILVA J.A.T. (2011) Physiological and bioagronomical aspects involved in growth and yield components of cultivated forage species in Mediterranean environments: A review. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, **5 (Special Issue 2)**, 64-98.
- MORENO L.S.B., PEDREIRA C.G.S, BOOTE K.J. and ALVES R.E. (2014) Base temperature determination of tropical *Panicum* spp. grasses and its effects on degree-day-based models. *Agricultural and Forest Meteorology*, **186**, 26– 33. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.09.013>.
- MUELLER-DOMBOIS, D. and ELLENBERG, G.H. (1974) Aims and methods of vegetation ecology. New York: Willey & Sons: 1974. 547p.
- PARK S.E., BENJAMIN L.R. and WATKINSON A.R. (2003) The Theory and Application of Plant Competition Models: an Agronomic Perspective. *Annals of Botany*, **92**, 741-748. DOI: 10.1093/aob/mcg204.
- RADFORD P.J. (1967) Growth analysis formulae – Their use and abuse. *Crop Science*, **7**, 171-175. DOI: 10.2135/cropsci1967.0011183X000700030001x.
- RUSSELLE M. P., WILHELM W.W., OLSON R.A. and POWER J. F. (1984) Growth analysis based on degree days. *Crop Science*, **24**, 28-32.

USECHE A. and SHIPLEY B. (2010) Interspecific correlates of plasticity in relative growth rate following a decrease in nitrogen availability. *Annals of Botany*, **105**, 333–339. DOI: 10.1093/aob/mcp284.

VERKROOST A.W.M. and WASSEN M.J. (2005) A Simple Model for Nitrogen-limited Plant Growth and Nitrogen Allocation. *Annals of Botany*, **96**, 871–876. DOI: 10.1093/aob/mci239.

VERNON A.J. and ALLISON J.C.S. (1963) A method of calculating net assimilation rate. *Nature*, **23**, 814. DOI: 10.1038/200814a0.

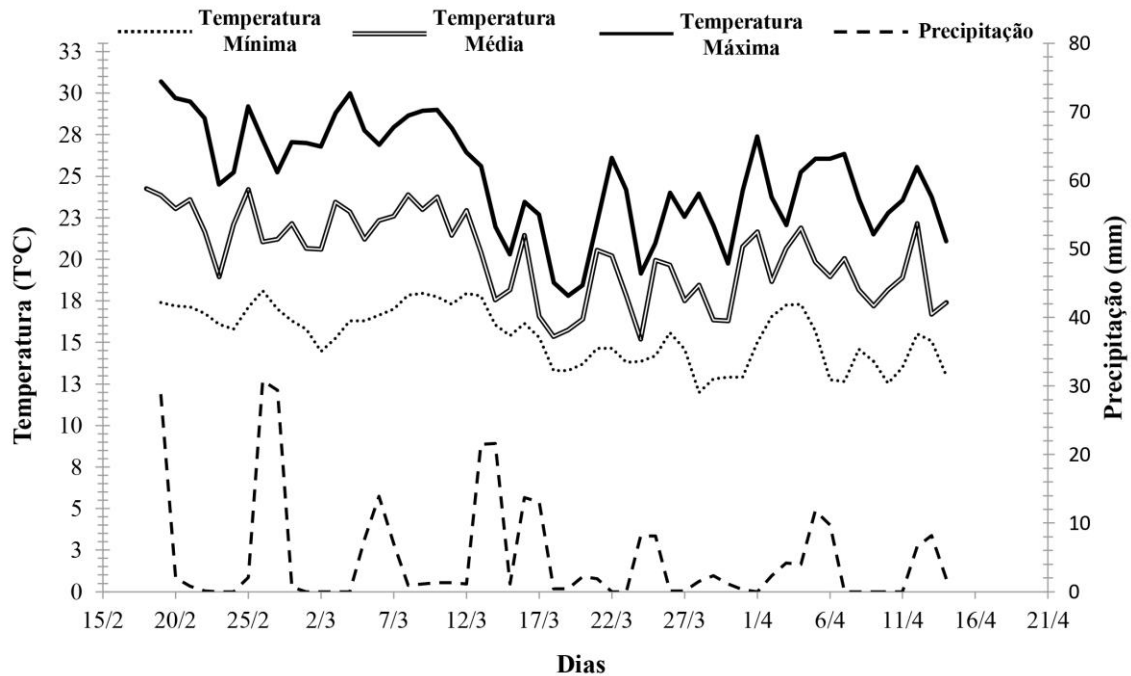
**Tabela 1** Análise de solo da área experimental antes da semeadura do *P. maximum* cv. Aries, para pH em cloreto de cálcio (pH CaCl<sub>2</sub>), alumínio (Al), alumínio mais hidrogênio (H+Al), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) carbono do solo (C), saturação bases (V) e fósforo (P), nas profundidades de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m.

Profundidade	pH	Al	H +Al	K	Ca	Mg	C	V	P
m	CaCl <sub>2</sub>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					g dm <sup>-3</sup>	%	mg dm <sup>-3</sup>
0,00 – 0,10	5,10	0,10	7,20	0,09	5,50	3,60	42,10	56	2,30
0,10 – 0,20	5,10	0,10	7,20	0,11	5,30	3,50	36,30	55	2,30

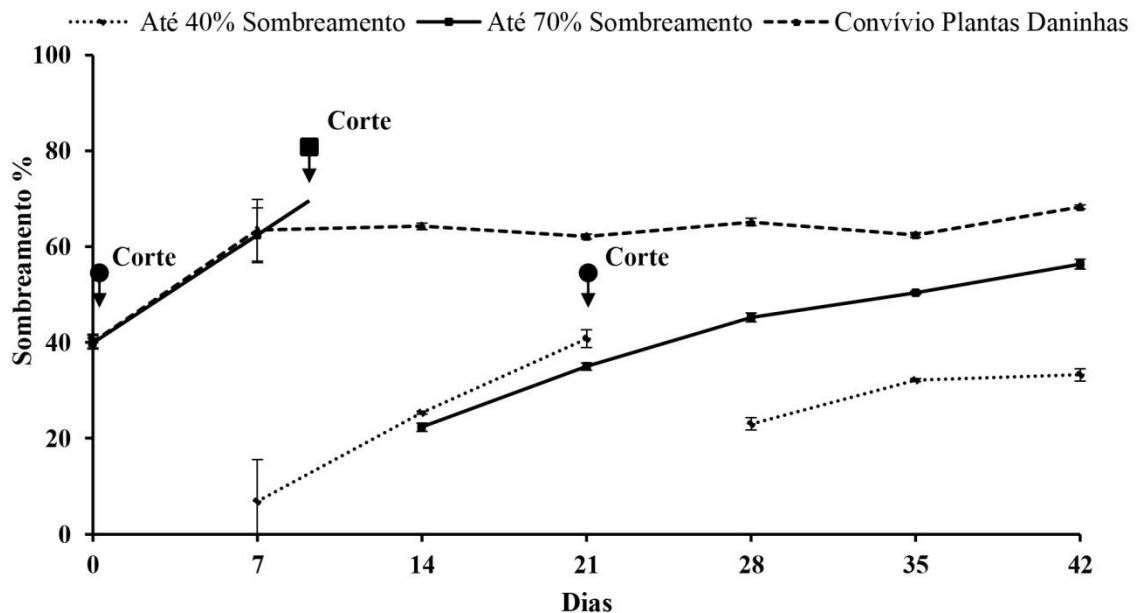
**Tabela 2** Análise de variância (ANOVA) para produção de matéria seca por planta (MS) por planta de *P. maximum* cv. Aries em função do nitrogênio e do sombreamento, ao longo do tempo (soma térmica em graus dias).

		Soma Térmica (Graus Dias)						
		279,30	361,25	449,50	511,95	567,80	628,45	696,65
S		0,520 <sup>NS</sup>	0,725 <sup>NS</sup>	0,625 <sup>NS</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,002 <sup>**</sup>	0,007 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>
MS	N	0,209 <sup>NS</sup>	0,022 <sup>*</sup>	0,004 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>	0,002 <sup>**</sup>	0,000 <sup>**</sup>
	I	0,707 <sup>NS</sup>	0,911 <sup>NS</sup>	0,173 <sup>NS</sup>	0,611 <sup>NS</sup>	0,057 <sup>NS</sup>	0,716 <sup>NS</sup>	0,000 <sup>**</sup>

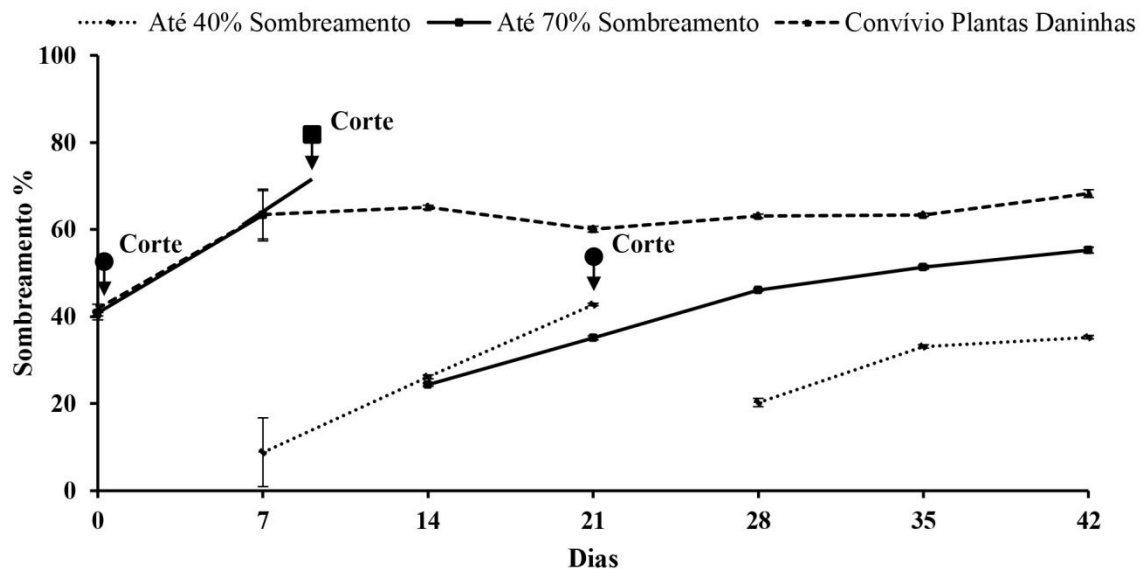
<sup>NS</sup> diferença não significativa; \*\*p < 0.01; \*p < 0.05. S: Sombreamento; N: Nitrogênio e I: Interação entre nitrogênio e os níveis de sombreamento.



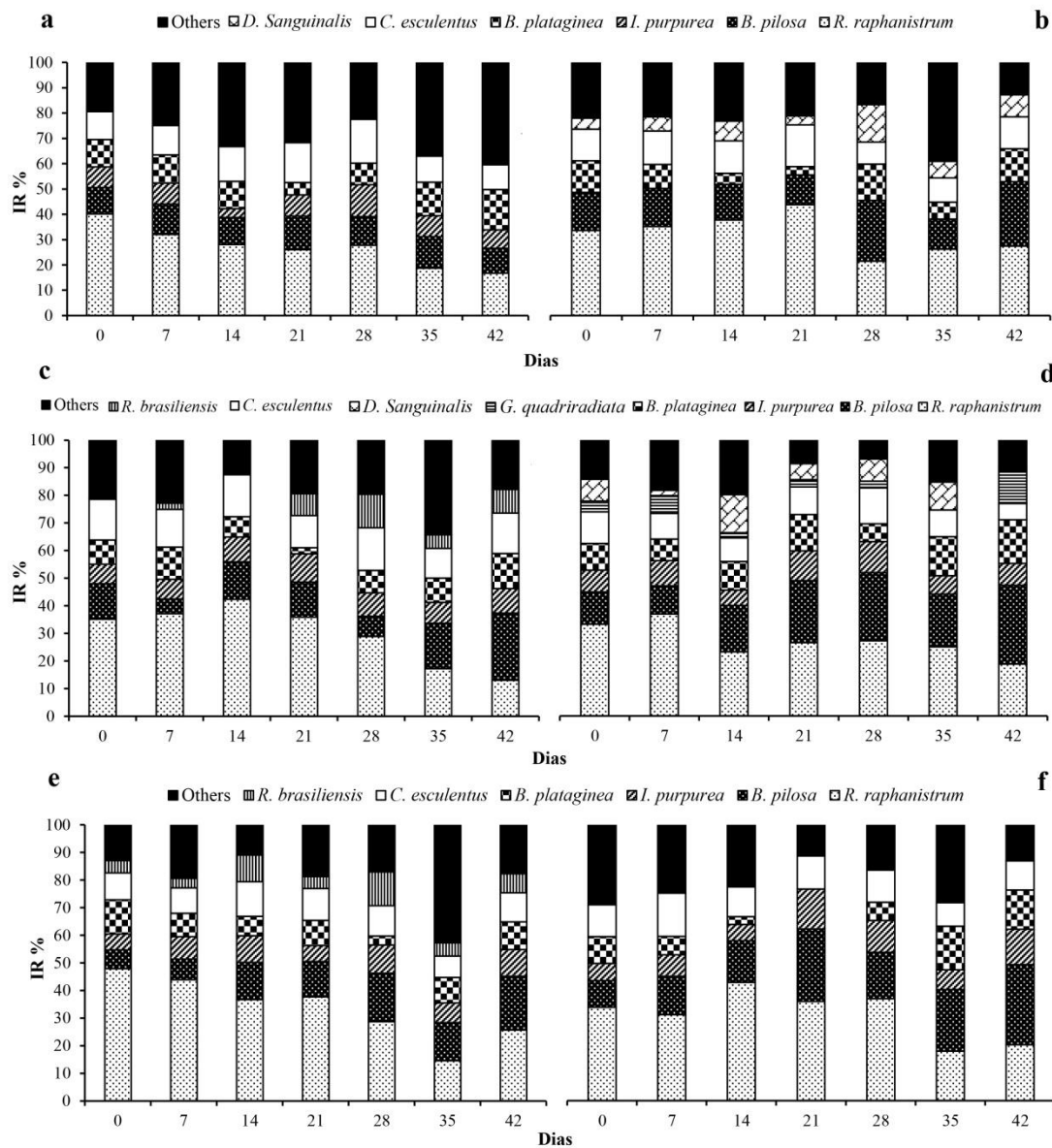
**Figura 1** Temperatura máxima, média, mínima ( $^{\circ}\text{C}$ ) e precipitação média (mm) durante o período do experimento (Estação experimental do Instituto Tecnológico SIMEPAR, Pinhais, Paraná, Brasil).



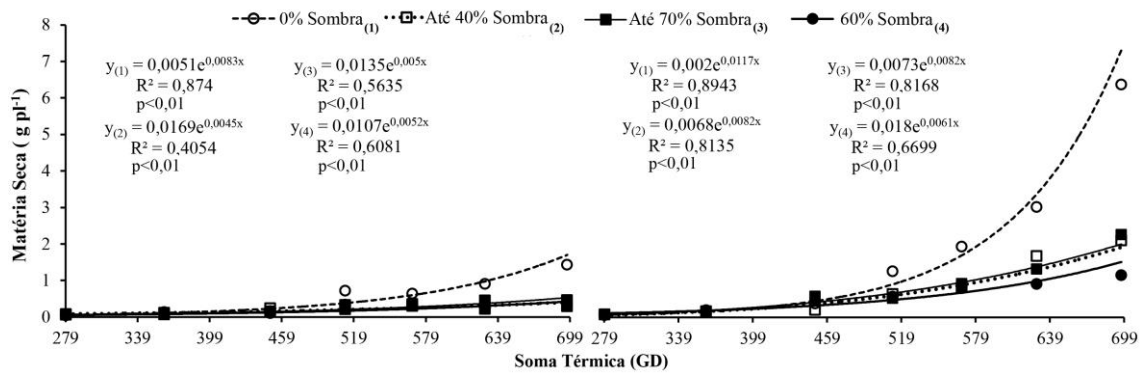
**Figura 2** Porcentagem de sombreamento provocado pelas plantas daninhas acima do dossel do *P. maximum* cv. Aries conforme os tratamentos adotados ao longo do tempo, sem a utilização de nitrogênio. O corte significa que foi alcançada a porcentagem desejada nos tratamentos (até 40% de sombreamento  $\blacktriangledown$  e até 70% de sombreamento  $\blacksquare$ ). No convívio com as plantas daninhas o sombreamento médio foi de 60%. A barra ( $\bar{\square}$ ) representa o desvio padrão calculada a cada sete dias e para cada tratamento de sombra.



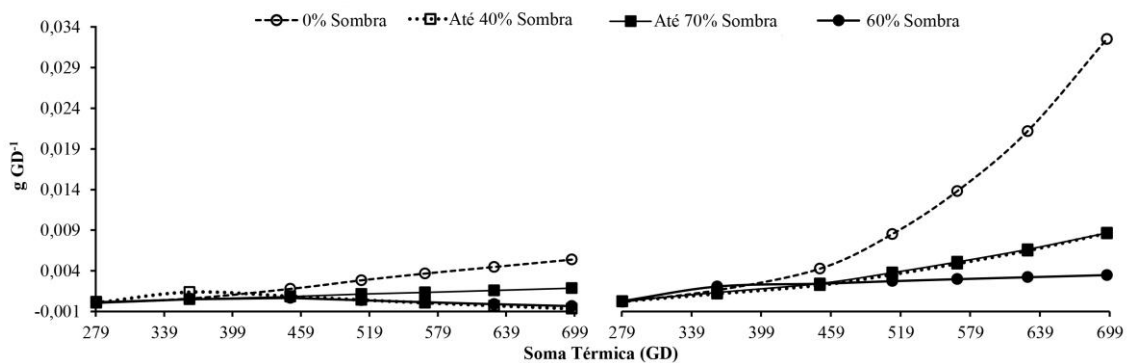
**Figura 3** Porcentagem de sombreamento provocado pelas plantas daninhas acima do dossel do *P. maximum* cv. Aries conforme os tratamentos adotados ao longo do tempo, com a utilização de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio. O corte significa que foi alcançada a porcentagem desejada nos tratamentos (até 40% de sombreamento ▼ e até 70% de sombreamento ▾). No convívio com as plantas daninhas o sombreamento médio foi de 60%. A barra (I) representa o desvio padrão calculada a cada sete dias e para cada tratamento de sombra.



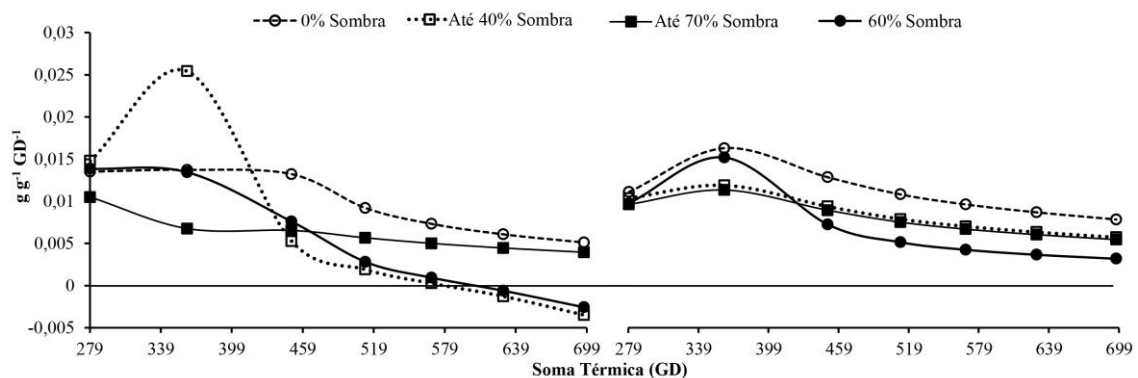
**Figura 4** Índice de importância relativa (IR) de cada espécie de plantas daninhas (acima de 10% de IR) nos tratamentos de até 40% de sombreamento com (a) e sem (b) nitrogênio, até 70% de sombreamento com (c) e sem (d) nitrogênio e 60% de sombreamento com (e) e sem (f) nitrogênio, a cada sete dias.



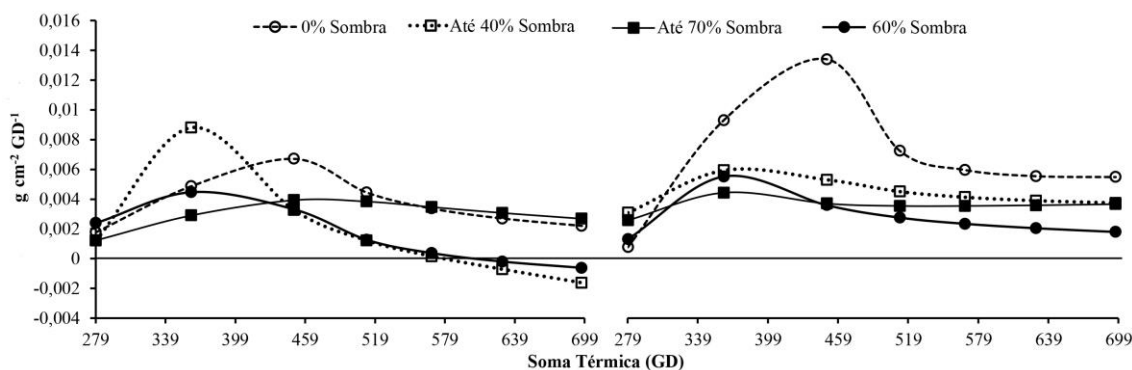
**Figura 5** Matéria seca por planta do *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio).



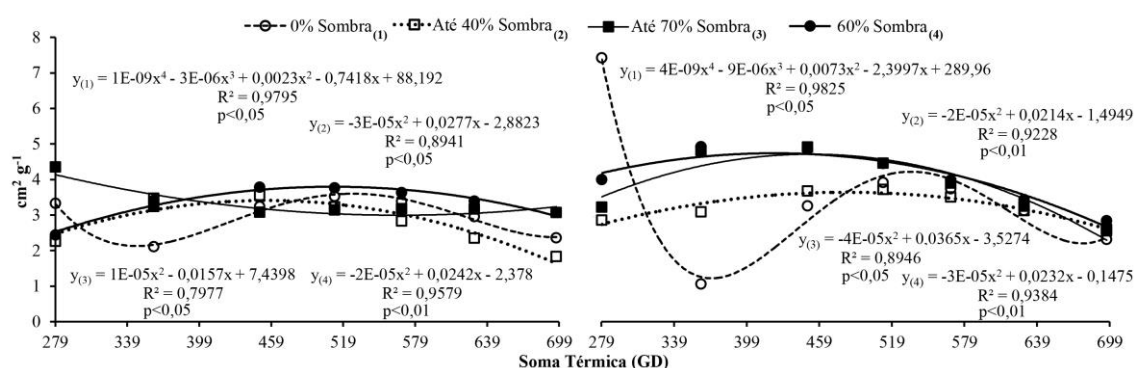
**Figura 6** Estimativa da taxa de crescimento absoluto - TCA ( $\text{g GD}^{-1}$ ) por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio).



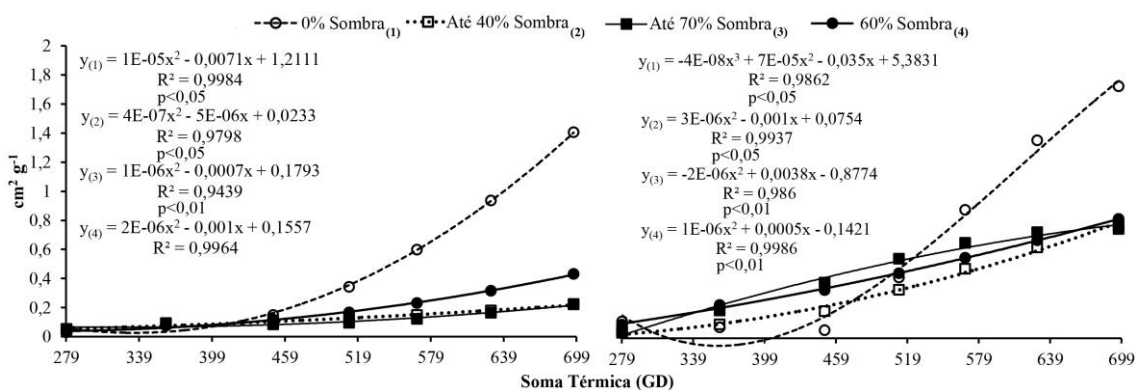
**Figura 7** Estimativa da taxa de crescimento relativo - TCR ( $\text{g g}^{-1} \text{GD}^{-1}$ ) por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio).



**Figura 8** Estimativa da taxa de assimilação líquida - TAL ( $\text{g cm}^{-2} \text{GD}^{-1}$ ) por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio).



**Figura 9** Área foliar específica - AFE ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ) por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio).



**Figura 10** Razão de área foliar - RAF ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ) por planta de *P. maximum* cv. Aries ao longo do tempo (soma térmica em graus dias) em função do sombreamento provocado por plantas daninhas acima do dossel forrageiro e doses de nitrogênio (à esquerda sem nitrogênio e à direita com  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio).

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos dois trabalhos demonstram que a produção de matéria seca de *Panicum maximum* cv. Aries é dependente das respostas fenotípicas, fisiológicas e a interação entre as elas nas condições de competição pela radiação e nitrogênio.

As respostas foram influenciadas pelas condições momentâneas da dinâmica das espécies de plantas daninhas.

A competição pela radiação fotossinteticamente ativa promove respostas relacionadas à quantidade e qualidade da luz incidentes no dossel do *P. maximum* cv Aries, afetando o perfilhamento, altura, senescência, índice de área foliar, taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo, taxa de crescimento cultural, relação de área foliar e área foliar específica.

O nitrogênio promove melhores condições para o desenvolvimento, auxiliando nas respostas de fuga à sombra e captura da radiação.

Esse trabalho reforça a necessidade do entendimento do universo de processos envolvidos na dinâmica da competição de comunidades vegetais, com a função de prover ferramentas para o manejo de culturas, em sistemas que buscam a maior eficiência agrônômica.

Um grande exemplo é o sistema integrado de produção agropecuária (SIPA), onde busca-se a otimização dos recursos ambientais juntamente com a produtividade, por meio de práticas agrônômicas como: consórcio e, ou, rotações entre forragem/grãos, forragem/árvores, grãos/árvores, forragem/grãos/árvores, onde o manejo adotado pode ter grande influência nas condições momentâneas do ciclo das culturas, como visto no trabalho, que refletem em maior produção.

Dessa forma como sugestão para trabalhos futuros, seria importante a avaliação de outras variáveis, em condições heterogêneas ao longo do tempo, como: carbono estocado no sistema radicular, comprimento de raízes, relação fonte/dreno, disponibilidade e absorção de nutrientes, teor de nutrientes na planta, eficiência na utilização dos recursos, características morfogênicas, volume de perfilhos, clorofila, florescimento, componentes de rendimento, área foliar das plantas daninhas, dentre muitos outros.

Buscando maior detalhamento ao longo do tempo, independentemente da escala, correlacionando com fatores ambientais, como luz, água, nutrientes, temperatura, CO<sub>2</sub>, e solo.

Algumas alterações poderiam ser realizadas no presente trabalho, como antecipar a data da semeadura da pastagem para o final da primavera ou início do verão, havendo dessa forma, maior tempo para avaliação do acúmulo de matéria seca após o estabelecimento e antes do inverno. Como também, colocar animais para pastejo nesse período, após o estabelecimento e antes do inverno, verificando a dinâmica das plantas daninhas e a persistência do Capim Aries em função dos tratamentos.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, A.; STREIBIG, J. C.; ANDREASEN, C. Yield loss prediction models based on early estimation of weed pressure. **Crop Protection**. v.53, p.125-131, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2013.06.010>

BULLOCK, J. M. **Plant competition and population dynamics**. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A. W. The ecology and management of grazing systems. Cab International. 1996, p. 70-100.

COOK, S. Pasture establishment on old cropping country in southern Queensland. **Tropical Grasslands**. v.41, p.191–199, 2007.

BOOTH, B. D. et al. **Weed Ecology in Natural and Agricultural Systems**. London, UK: CAB International, 2003.

DITOMASO, J. M. Invasive weeds in rangelands: Species, impacts, and management. **Weed Science**. v.48, p.255–265, 2000. DOI: [http://dx.doi.org/10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0255:IWIRSI\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0255:IWIRSI]2.0.CO;2).

GRIME, J. P. **Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties**. 2. ed. Chichester, UK: Wiley, 2001.

HÅKANSSON, S. **Competition in Plant Stands of Short Duration**. London, UK: CAB International, 2003.

KEMP, D. R.; KING, W. McG. **Plant Competition in Pastures – Implications for Management**. In: TOW, P. G.; LAZENBY, A. Competition and Succession in Pastures. London, UK: CAB International, 2001.

KROPFF, M.; WEAVER, S. E.; SMITS, M. A. Use of ecophysiological models for crop-weed interference: relations amongst weed density, relative time of weed emergence, relative leaf area, and yield loss. **Weed Science**. v.40, p.296-301, 1992.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Tradução por PRADO, C. H. B. DE. A. 1. ed. São Carlos, SP: Rima, 2000.

LEMAIRE, G. Ecophysiological of Grasslands: Dynamics aspects of forage plant population in grazed swards. Proceedings of the XIX International Grassland Congress, São Pedro, São Paulo (Brasil), 10 - 21 février 2001, 29-37 - (Introductive paper).

NABINGER, C. **Princípios da exploração intensiva de pastagens**. In: PEIXOTO, A.M., MOURA, J.C., FARIA, V.P. (Eds.) Simpósio sobre manejo da pastagem, 13, Piracicaba, 1996. *Anais...* Piracicaba: FEALQ, 1996. p.15-96.

PARK, S. E.; BENJAMIM, L. R.; WATKINSON, A. R. The Theory and Application of Plant Competition Models: an Agronomic Perspective. **Annals of Botany**. v. 92, p. 741-748, 2003. DOI: 10.1093/aob/mcg204.

PITELLI, R. A. **Competição e controle das plantas daninhas em áreas agrícolas**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v.4, n.12, p.1 – 24, Set.1987.

RIZZARDI et al. Competição por recursos do solo entre ervas daninhas e culturas. **Ciência Rural**, v. 31, n. 4, 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000400026>.

SCHUSTER, M.Z. et al. Interferência de plantas daninhas no estabelecimento do trevo branco como cultura forrageira. **Ciência Rural**, v.43, p.2148-2153, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013001200005>.

VAN DER VALK, A. G. **Establishment, colonization and persistence**. In: GLENN-LEWIN, D. C.; PEET, R. K.; VELEN, T. T. Plant succession theory and prediction. Population and community biology series 11. Great Britain, UK. Cambridge. 1992. p. 60-92.