

RODRIGO DE PAULA FERREIRA

**ECOFISIOLOGIA DO CAFEIRO SOMBREADO COM MACAÚBA EM  
SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

F383e  
2017

Ferreira, Rodrigo de Paula, 1986-  
Ecofisiologia do cafeeiro sombreado com macaúba em  
sistemas agroflorestais / Rodrigo de Paula Ferreira. – viçosa,  
MG, 2017.  
x,65f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.48-56.

1. Café - Cultivo. 2. Sistemas agroflorestais. 3. Trocas  
gasosas. 4. Fotossíntese. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em  
Agroecologia. II. Título.

CDD 22 ed. 633.73

RODRIGO DE PAULA FERREIRA

**ECOFISIOLOGIA DO CAFEIRO SOMBREADO COM MACAÚBA EM  
SISTEMAS AGROFLORESTAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de outubro de 2017.

*Sebastián Giraldo Montoya*

Sebastián Giraldo Montoya

*Luiz Alexandre Peternelli*

Luiz Alexandre Peternelli

*Kaciêda Naomi Kuki*

Kaciêda Naomi Kuki

*Ricardo Henrique Silva Santos*

Ricardo Henrique Silva Santos  
(Orientador)

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus e aos meus pais, Danisete Aparecida de Paula Ferreira e Luiz Gonzaga Ferreira (in Memoria), sendo estes os principais incentivadores e referências da minha vida, por persistirem sempre e nunca desistir ante quaisquer obstáculos.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, sempre iluminando meus caminhos e me confortando nos momentos difíceis de minha vida.

A minha mãe Danisete Aparecida de Paula Ferreira e todos os meus familiares pelo incentivo e apoio na busca para realização de meus sonhos.

A Mônica Schmolz de Mattos e seus familiares pelo carinho, compreensão e incentivo nos momentos difíceis dessa caminhada.

Ao Professor e orientador Ricardo Henrique Silva Santos, pelos conselhos, atenção, disponibilidade e auxílio e nas várias dúvidas recorrentes que surgiam durante o percurso deste trabalho de pesquisa.

À Pesquisadora e Kacilda Naomi Kuki pela paciência, atenção, seus conselhos e disponibilidade que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa.

Aos amigos Sebastián Giraldo Montoya e Anália Lúcia Vieira Pacheco pela contribuição e apoio no desenvolvimento da pesquisa, pelo carinho, paciência, atenção e orientações nos momentos difíceis durante o curso.

Ao programa de Pós-Graduação em Agroecologia e a Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de complementação da minha formação acadêmica na realização do mestrado e o local para desenvolvimento da pesquisa.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa de pesquisa para o desenvolvimento desse trabalho.

Ao grupo (REMAPE) Rede Macaúba de Pesquisas pelos minicursos oferecidos que foram de grande ajuda para o desenvolvimento e aperfeiçoamento dessa pesquisa.

Aos amigos do laboratório de agroecologia pelos conselhos, incentivo, carinho e apoio dados durante todo o curso.

E a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho que eu possa ter esquecido neste momento citar, meu singelo agradecimento: “Muito Obrigado”.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	ix
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVO .....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	6
3.1. Área de Estudo e Tratamentos .....	6
3.2. Avaliações. ....	8
3.3. Variáveis edafoclimáticas .....	9
3.3.1. Monitoramento do mesoclima .....	9
3.3.2. Monitoramento do microclima no sub-bosque .....	9
- <i>Radiação fotossinteticamente ativa</i> .....	9
- <i>Umidade e temperatura do solo</i> .....	9
3.4. Variáveis Ecofisiológicas .....	10
3.4.1. Eficiência do uso da luz – curva de luz .....	10
3.4.2. Trocas gasosas pontuais .....	10
3.4.3. Fluorescência da clorofila a .....	11
3.4.4. Avaliação do crescimento dos cafeeiros.....	12
3.5. Análise Estatística .....	13
3.5.1. Variáveis edafoclimáticas e de produtividade .....	13
3.5.2. Variáveis ecofisiológicas .....	13
3.5.3. Crescimento do cafeeiro .....	13
4. RESULTADOS .....	14
4.1 Temperatura, precipitação, radiação fotossinteticamente ativa e umidade do solo .....	14
4.1.1. Temperatura e Umidade do ar .....	14
4.1.2. Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) .....	14
4.1.3. Umidade do solo .....	17
4.2. Produtividade do cafeeiro .....	22
4.3. Crescimento dos cafeeiros .....	24
4.4. Eficiência no uso da luz .....	26
4.5. Trocas gasosas dos cafeeiros .....	27
4.6. Fluorescência da clorofila a .....	31

5. DISCUSSÃO .....	34
6. CONCLUSÃO .....	47
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48
8. ANEXOS .....	57



## RESUMO

FERREIRA, Rodrigo Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2017. **Ecofisiologia do cafeeiro sombreado com macaúba em sistemas agroflorestais.** Orientador: Ricardo Henrique Silva Santos. Coorientador: Leonardo Duarte Pimentel.

O gênero *Coffea* possui duas espécies mundialmente importantes, a *Coffea canephora* e a *Coffea arabica*, mais conhecidos como café conilon e café arábica. Da mesma forma que acontece com a produção mundial, o café arábica corresponde a mais de 70% da produção brasileira, sendo o Estado de Minas Gerais o maior produtor e responsável por mais de 50% da produção nacional. As alterações nos padrões climáticos vêm preocupando produtores e pesquisadores no mundo inteiro, não sendo diferente para a cultura do café. Com aumento da temperatura, a maior parte das lavouras em Minas Gerais terá que migrar para regiões mais altas com clima mais ameno, incluído a cultura do café. Dentre as variáveis climáticas que afetam o crescimento e a produção do café, destacam-se como principais a variação da temperatura média anual, a disponibilidade de luz e a disponibilidade hídrica. Uma das alternativas para minimizar os efeitos das mudanças climáticas sobre a produção de cafeeiros pode ser o cultivo em sistemas agroflorestais (SAFs). Dentre os benefícios desta modalidade de cultivo pode se destacar as melhores condições micro ambientais do sub-bosque, incluído a temperatura, a umidade do solo e umidade relativa do ar. Entretanto, em sistemas agroflorestais a escolha das espécies a serem cultivadas deve ser baseada na compatibilidade entre os componentes do sub-bosque e o arbóreo, evitando a competição exacerbada por água, nutrientes e radiação solar. Desse modo o objetivo do presente trabalho foi avaliar os efeitos do cultivo consorciado macaúba – cafeeiro em seu desempenho fisiológico e produtivo do cafeeiro (*Coffea arabica*) em diferentes distâncias. Para isso foi avaliada a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), trocas gasosas, fluorescência, crescimento e produtividade dos cafeeiros. No geral a diferença microclimática proporcionada pelo componente arbóreo interferiu nos padrões de fotossíntese dos cafeeiros no SAF, sendo que nos cafeeiros na fileira próxima como distante da macaúba, houve uma similaridade na fotossíntese líquida. Entretanto as variações na produção de cafeeiro possivelmente estão relacionadas, em maior peso com a fenologia de crescimento das plantas do que necessariamente com as trocas gasosas. As palmeiras associadas com os cafeeiros proporcionam redução na entrada de luz sobre o dossel das plantas no sub-bosque nos períodos Chuvoso/Quente e Seco/Frio.

As fileiras dos cafeeiros mais distantes das palmeiras tiveram maior crescimento em altura e diâmetro do dossel, enquanto que cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentaram maior número de nós e diâmetro do caule. No primeiro ano de avaliação da produção, após a recepa, cafeeiros mais distantes das macaúbas apresentaram uma produção 3 vezes maior que cafeeiros nas fileiras próximas das macaúbas e a pleno sol/monocultivo. Mas é necessário observar o segundo ano da produção dos cafeeiros devido a bianualidade da produção nesta espécie. Cafeeiros no período Seco/Quente e Frio/Seco apresentaram valores semelhantes em relação a trocas gasosas, com valores menores que os verificados com o período Chuvoso/Quente. Já no período Chuvoso/Quente os cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentaram maiores valores de fotossíntese que cafeeiros associados com as palmeiras tanto próximo como distante da macaúba, devido as melhores condições edafoclimáticas.

## ABSTRACT

FERREIRA, Rodrigo Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2017. **Ecophysiology of coffee shaded with macaúba in agroforestry systems**. Adviser: Ricardo Henrique Silva Santos. Co-adviser: Leonardo Duarte Pimentel.

The genus *Coffea* has two world-class species, *Coffea canephora* and *Coffea arabica*, better known as Conilon coffee and Arabica coffee. As with world production, Arabica coffee accounts for more than 70% of Brazilian production, with Minas Gerais being the largest producer and accounting for more than 50% of national production. Changes in weather patterns have worried producers and researchers worldwide, and are no different for coffee crop. As temperature increases, most of the crops in Minas Gerais would have to migrate to higher, milder climate regions, including coffee crop. Among the climatic variables that affect coffee growth and production, the average annual temperature, light availability and water availability are the main ones. One of the alternatives to minimize the effects of climate change on coffee production may be to grow them in agroforestry systems. Among the benefits of this modality of cultivation can be highlighted the better conditions of the micro-environmental conditions of the understory, including temperature, soil moisture and relative humidity. However, in agroforestry systems the choice of tree species must be based on the compatibility between the components of the understorey and the coffee crop, avoiding strong competition by water, nutrients and solar radiation. In this way, the objective of this work was to evaluate the effects of macaúba - coffee intercropping on the physiological and productive performance of coffee (*Coffea arabica*) cultivated at different distances. For this, it was evaluated the photosynthetically active radiation (PAR), gas exchange, fluorescence, growth and productivity of coffee trees. The microclimatic differences resulted from the tree component changed the photosynthesis patterns of Coffee in the agroforestry system. Coffee trees located either near or distant from the macaúba tree presented a similar net photosynthesis. Nevertheless, the differences in coffee yield are possibly more associated with differences on crop phenology than with differences in gas exchange. The palm trees associated with coffee resulted in reduction on light availability to coffee canopy along both the rainy/hot and dry/cold seasons. Coffee trees more distant from macaúba palm trees presented greater both high and canopy diameter, while coffee trees under full sunlight/monocrop presented greater number of nodes and stem diameter. On this first year after the low pruning, coffee trees cultivated more

distant than macaúba trees presented a yield three times higher than the ones located near the palm trees and under full sunlight. Nevertheless, it is necessary to check the yield in the next years due to the biannually growth and yield of coffee crop. Coffee trees presented similar gas exchange results on the dry/hot and dry/cold season, but lower than the values on the rainy/hot season. In this last season the coffee trees under full sunlight/monocrop showed higher photosynthesis than the ones cultivated either next of distant of the palm trees, due to better soil and climate conditions.

## 1. INTRODUÇÃO

O gênero *Coffea* possui duas espécies mundialmente importantes, a *Coffea canephora* e a *Coffea arabica*, mais conhecidos como café conilon e café arábica. Da mesma forma que acontece com a produção mundial, o café arábica corresponde a mais de 70% da produção brasileira, sendo o Estado de Minas Gerais o maior produtor e responsável por mais de 50% da produção nacional, (CONAB, 2015).

Entre os 853 municípios mineiros a cafeicultura está presente em mais de 500 destes, distribuída em quatro grandes regiões produtoras: cerrado mineiro, norte de Minas - Jequitinhonha/Mucuri, sul de Minas e Zona da Mata Mineira (ZMM). Dessas regiões, a ZMM é a segunda maior produtora de café, (CONAB, 2015), sendo o seu cultivo predominantemente exercido através da agricultura familiar, e comumente associado à pastagens e/ ou culturas de subsistência como feijão e o milho (LIMA *et al.*, 2005).

Nos últimos anos as alterações nos padrões climáticos vêm preocupando produtores e pesquisadores no mundo inteiro, não sendo diferente para a cultura do café. De acordo ASSAD *et al.*, (2004) com aumento das temperaturas baseado no *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), a maior parte das lavouras em Minas Gerais terá que migrar para regiões mais altas com clima mais amenos, incluído a cultura do café.

Esses efeitos atingiram principalmente os agricultores familiares por apresentarem dentre suas características deficientes infra-estrutura produtiva, assistência técnica e baixa estabilidade financeira (LIMA *et al.*, 2005), além de posição frágil frente ao mercado. Dentre os efeitos e consequências para a agricultura familiar podem ser verificados a diminuição de áreas adequadas para a produção, redução da produtividade,

redução de renda e mesmo inviabilidade da produção, gerando claramente impactos sociais negativos (AZEVEDO *et al.*, 2015; LIMA & ALVES, 2010)

Segundo CAMARGO, (2010) dentre as variáveis climáticas que afetam o crescimento e a produção do café, destacam-se como principais a variação da temperatura média anual, a disponibilidade de luz e a disponibilidade hídrica. Alterações nestas variáveis, com consequente perda na produtividade cafeeira, podem ser exacerbadas pelas técnicas de cultivos impróprias, comuns ao modelo de agricultura praticado majoritariamente em Minas Gerais.

A disponibilidade de luz pode afetar as características morfológicas, anatômicas e fisiológicas das folhas, interferindo diretamente no seu desenvolvimento. Em geral, radiações muito baixas ou muito elevadas podem comprometer a estrutura dos cloroplastos e os componentes bioquímicos do processo fotossintético (NASCIMENTO *et al.*, 2006). O cafeeiro quando exposto a irradiância - em torno de 1.200 e 1.300  $\mu\text{mol}^{-2}\text{s}^{-1}$  - não sofre perdas na atividade fotossintética (KUMAR & TIESZEN, 1980). No entanto, em regiões tropicais a radiação pode alcançar valores acima de 2.200  $\mu\text{mol}^{-2}\text{s}^{-1}$ , sendo suficiente para induzir danos bioquímicos (NUNES *et al.*, 1993). Esses níveis de radiações, típicos em dias de verão tropical, podem saturar o aparelho fotossintetizante, predispondo o cafeeiro à fotoinibição e consequentemente redução no crescimento e produção da planta (FREITAS *et al.*, 2003).

Uma das alternativas para garantir a produção de cafeeiros é cultivá-los em sistemas agroflorestais (SAFs). Dentre os benefícios desta modalidade de cultivo pode se destacar o melhor controle sobre as condições micro ambientais do sub-bosque, incluído a temperatura, a umidade do solo e umidade relativa do ar. Nesses sistemas a presença do componente arbóreo contribui para a regulação da temperatura do ar, reduzindo a amplitude de variação ao longo do dia, proporcionando um ambiente mais

estável, trazendo benefícios aos animais e plantas que fazem parte desse sistema (RIBASKI *et al.*, 2001).

Em regiões sujeitas a altas temperaturas e déficit hídrico, a arborização de cafeeiros com a conseqüente atenuação do excesso de radiação incidente, da temperatura e demanda evaporativa, pode resultar em melhores condições para a manutenção das trocas gasosas, com reflexos positivos sobre a produção (Da MATTA, 2004). Entretanto, em sistemas agroflorestais a escolha das espécies a serem cultivadas deve ser baseada na compatibilidade entre os componentes do sub-bosque e o arbóreo, evitando a competição exacerbada por água, nutrientes e radiação solar (MARTINES *et al.*, 2004). A associação com espécies arbóreas incompatíveis, a densidade de plantio e manejo da copa pode resultar em quedas na produção do cafeeiro (CARAMORI *et al.*, 2004)

Dentre os componentes arbóreos alternativos para SAFs, as espécies pertencentes ao grupo das palmáceas merecem destaque, pois a morfologia de suas folhas e a arquitetura de suas copas em geral atenua a penetração de radiação solar no sub-bosque, sem, contudo sombreá-lo por completo. O cultivo consorciado com coqueiros, dendê e açaizeiros aparenta ser uma prática comum para pequenos produtores das regiões tropicais (ABDO *et al.* 2008; VIEIRA *et al.* 2007; MÜLLER & RODRIGUES, 2007; DA VEIGA *et al.* 2000; MEDRADO 2000; VEIGA & SERRÃO, 1990). Entretanto, no Brasil o cultivo de palmáceas integrado com outras culturas ainda é incipiente, apesar de apresentar grande potencial.

Dentre as palmeiras que podem ser utilizadas num SAF destaca-se a macaúba, *Acrocomia aculeata*. Essa espécie, devido a sua aparente rusticidade às intempéries edafo-climáticas e sua alta produtividade, representa uma alternativa de cultura oleífera na região da ZMM, onde é de ocorrência natural. Assim, um SAF de macaúba-cafeeiro pode trazer benefícios ambientais, econômicos e sociais, por potencialmente

proporcionar um melhor aproveitamento da terra, uma diversificação da produção e um aumento de renda ao produtor familiar. Contudo, atualmente são poucas as informações que validam a compatibilidade e eficiência deste modelo de consórcio, especialmente em relação ao cafeeiro.



## 2. OBJETIVO

Com base no exposto, o presente trabalho avaliou os efeitos do cultivo consorciado macaúba - cafeeiro no desempenho fisiológico (trocas gasosas) e produtivo do cafeeiro (*Coffea arabica*). Para tanto, objetivou se avaliar:

- i) Variáveis microclimáticas e edáficas nos sub-bosques das áreas cultivadas (monocultivo e consórcio)
- ii) Variáveis fisiológicas (trocas gasosas) e crescimento e produção do cafeeiro

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo e Tratamentos

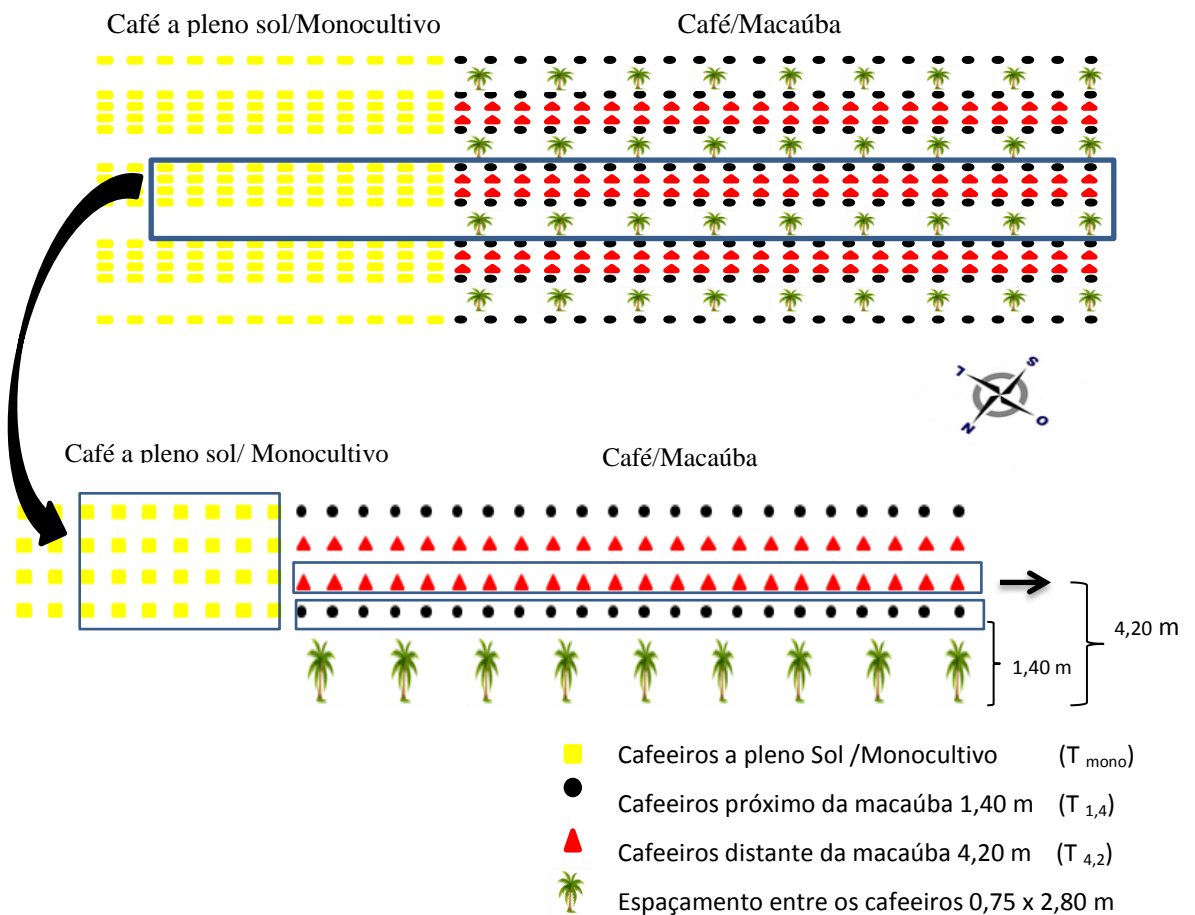
O experimento foi conduzido no município de Viçosa (20°45'14" S e 42°52'53" W), Zona da Mata de Minas Gerais, em área experimental do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa (DFT/UFV). A área está localizada a 675 m de altitude, possuindo 17% de declividade e face de exposição solar noroeste.

O trabalho foi desenvolvido em um plantio experimental de café arábica, cultivar Oeiras, conduzido a pleno sol/monocultivo e consorciado com macaúba (*Acrocomia aculeata*), instalado em novembro de 2007. Em outubro de 2014 foi realizada a recepa do cafeeiro a 20 cm da altura do solo. O cafeeiro foi então conduzido com dois ramos ortotrópicos.

No local foram delimitadas 3 áreas, que foram consideradas como tratamentos: cafeeiros cultivados solteiro a pleno sol/monocultivo ( $T_{\text{mono}}$ ), café cultivado em consórcio com a macaúba a 1,40 metros de distância ( $T_{1,4}$ ) e café cultivado a 4,20 metros da macaúba ( $T_{4,2}$ ). As macaúbas estavam plantadas em renques espaçados de 11,20 m, com 2,80 m entre plantas. O espaçamento dos cafeeiros foi o 2,80 x 0,75, com 4.762 plantas ha<sup>-1</sup> (Figura 1 e 2).



**Figura 1** - Localização da área experimental, cafeeiros a pleno sol/monocultivo e cafeeiros associados a macaúbas em renques no Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa.



**Figura 2-** Croqui da área experimental em Viçosa – MG e a disposição dos tratamentos: cafeeiros a pleno sol/monocultivo ( $T_{mono}$ ), cafeeiros próximo da macaúba 1,40m ( $T_{1,4}$ ) e cafeeiros distante da macaúba 4,20m ( $T_{4,2}$ ).

### 3.2 Avaliações

As avaliações foram realizadas em 2015 e 2016, em total de três avaliações (Tabela 1): a primeira em outubro de 2015, período este na região caracterizado por ser seco com baixa precipitação hídrica e baixa umidade no solo; a segunda em dezembro de 2015, período este caracterizado pelo início da estação chuvosa na região e época onde ocorre o enchimento de grão dos cafeeiros; a terceira em junho de 2016, período este caracterizado por ser época de colheita dos frutos do cafeeiro e por ser no início da estação seca na região. Nesse período foi realizada curva de luz e retirado dentro da curva a leitura correspondente a leituras pontuais.

. **Tabela 1** – Cronograma das avaliações do experimento

Período de avaliação	Estação do ano características gerais	Média temperatura (°C)	Média umidade relativa do ar (%)	Precipitação acumulada do mês (mm)	Estágio fenológico do cafeeiro
Outubro de 2015	<b>Seca e quente</b> baixa precipitação e umidade relativa do ar	22,5	72	43,1	Crescimento suspenso
Dezembro de 2015	<b>Chuvosa e quente</b> temperaturas mais elevadas maiores precipitação e umidade relativa do ar	23,2	79	264,1	Crescimento vegetativo e enchimento dos frutos
Junho de 2016	<b>Seca e frio</b> temperaturas baixas, início da estação seca	16,8	84	67,1	Fase de colheita dos frutos e crescimento pequeno ou nulo

Foram avaliadas as seguintes variáveis:

### **3.3 - Variáveis edafoclimáticas**

#### ***3.3.1 Monitoramento do mesoclima***

Durante o período de 12 meses, setembro de 2015 a agosto de 2016 foram monitorados diariamente a precipitação hídrica, a temperatura do ambiente e a umidade relativa do ar, transformados em médias mensais. Esses dados foram obtidos da mini estação meteorológica do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

#### ***3.3.2 Monitoramento do microclima no sub-bosque***

##### ***Radiação fotossinteticamente ativa***

As mensurações da Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA -  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) incidente sobre as folhas dos cafeeiros foram realizadas na altura da copa sobre o dossel das plantas, no horário entre 10:00 h a 10:30 h. Foram realizadas 30 leituras por tratamento nas três épocas descritas na (Tabela 1). As medidas foram feitas usando o sistema analisador de gás no infravermelho (IRGA), Modelo Lcpro-SD (ADC BIO Scientific Ltda, UK).

##### ***Umidade e temperatura do solo***

Para o monitoramento da umidade e temperatura do solo sensores (Decagon Em50) foram instalados na camada de 0-20 cm de profundidade, na linha dos cafeeiros, sendo um aparelho por tratamento (cafeeiros a pleno sol/Monocultivo, fileiras dos cafeeiros próximos das palmeiras (1,40 m) e fileiras de cafeeiros distantes das palmeiras 4,20 m). Os sensores foram acoplados a um datalogger (Decagon ECH<sub>2</sub>O Logger), sendo a coleta de dados programada para cada 60 minutos. Foram monitorados nas três épocas de acordo com a (Tabela 1), e apresentadas as médias diárias desses períodos.

### **3.4 - Variáveis ecofisiológicas**

#### ***3.4.1 Eficiência do uso da luz - Curva de luz***

Para determinar a eficiência do uso de luz do cafeeiro nos três tratamentos foram realizadas avaliações da fotossíntese líquida através do fornecimento de níveis irradiâncias fotossinteticamente ativa (RFA) crescentes: 0, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 400, 600, 800, 1000 1200, 1400, 1600, 1800, 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . As avaliações foram realizadas na última semana do mês de setembro de 2015. As mensurações foram realizadas no intervalo de 7:00h as 9:00h da manhã. A parte da planta dos cafeeiros mensuradas foi terceiro par de folhas, contados a partir do ápice para a base do ramo plagiotrópico (par de folha +3) e na parte média superior da planta, 5° ou 6° ramos da parte superior (cima) para a inferior no ramo ortotrópico. Utilizou-se uma folha de cada planta, totalizando 5 plantas em cada tratamento. As medidas foram feitas com um sistema analisador de gás no infravermelho (IRGA), Modelo Lcpro-SD (ADC BIO Scientific Ltda, UK).

#### ***3.4.2 Trocas gasosas pontuais***

As mensurações das trocas gasosas pontuais foram realizadas no intervalo de 7:00h as 9:00 h da manhã. A parte da planta analisada foi a mesma estipulada no (item 3.4.1 – Eficiência do uso da luz). O período de avaliação foi de acordo com estabelecido (Tabela 1), Seco/Quente, Chuvoso/Quente e Seco/Frio. Utilizou-se uma folha de cada planta, totalizando 5 plantas em cada tratamento. Os parâmetros utilizados para avaliação foram a taxa de fotossíntese ( $A$ ), a condutância estomática ( $g_s$ ), a transpiração ( $E$ ), e a razão entre as concentrações interna e ambiente de  $\text{CO}_2$  ( $C_i/C_a$ ). As medidas foram feitas com um sistema analisador de gás no infravermelho (IRGA), Modelo

Lcpro-SD (ADC BIO Scientific Ltda, UK). Estabeleceu-se na câmara foliar intensidade de luz de  $1.000 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  de fótons sob temperatura corrente do ambiente.

### 3.4.3 Fluorescência da clorofila *a*

As avaliações de fluorescência foram realizadas nos três períodos: em outubro/2015, dezembro/2015 e em junho/2016, simultaneamente às de trocas gasosas pontuais. As leituras foram feitas no intervalo entre as 9:00 h e as 10:00 h, nas mesmas plantas e em folha imediatamente oposta à selecionada para as avaliações de trocas gasosas. Os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* foram determinados com o fluorímetro portátil de luz modulada modelo Multi-Mode Chlorophyll Fluorometer OS5p (Opti-Sciences).

Antes das avaliações as folhas dos cafeeiros foram aclimatadas ao escuro por 30 min (fase escura) com clips foliares (leaf clips). Após esse período as folhas foram excitadas por luz vermelha modulada de baixa intensidade para a obtenção da fluorescência mínima ( $F_0$ ), em seguida foi aplicado pulso de luz actínica saturante para a obtenção da fluorescência máxima ( $F_m$ ). Com a obtenção desses dados calculou-se fluorescência variável  $F_v = (F_m - F_0)$ ; e o rendimento quântico máximo (potencial) do PSII  $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$  (VAN KOOTEN & SNEL, 1990).

Após realizadas as leituras na fase escura, foi aplicado um pulso saturante de luz actínica durante 40s de mesma intensidade da radiação fotossinteticamente ativa ambiente no momento da medição para obtenção dos parâmetros de fase clara. Foram obtidos os valores de  $F_s$ ,  $F_m'$ , em que  $F_s$  é o rendimento de fluorescência antes do pulso de saturação e  $F_m'$ , a fluorescência máxima durante o pulso de saturação. Com a obtenção desses dados calculou-se o quenching não fotoquímico, ou dissipação não fotoquímica,  $Y_{NPQ} = (F_m - F_m')/F_m'$  e a taxa de transporte de elétrons  $ETR = F_m' - F_s/F_m'$  (GENTY *et al.*, 1989; KRAMER *et al.*, 2004).

#### **3.4.4 Avaliação do crescimento dos cafeeiros**

As avaliações de crescimento vegetativo foram realizadas em duas épocas: no final do mês setembro de 2015, representando o final do período de crescimento reduzido da planta, e em junho de 2016, época de maturação dos frutos do cafeeiro e final do período de maior crescimento.

Foram selecionadas aleatoriamente 10 plantas por tratamento. Em cada planta foram marcados seis ramos plagiotrópicos (dois em cada terço da planta, terço superior, médio e inferior), onde foram monitorados o número de nós totais, além de altura e diâmetro de copa (dossel) e diâmetro dos ramos ortotrópicos.

Para determinar a altura da planta utilizou-se uma fita graduada em cm realizando-se as medições desde a superfície do solo até o ápice da planta. Em relação ao diâmetro do dossel dos cafeeiros, utilizou-se a mesma fita graduada, realizando as mensurações em sentido transversal e longitudinal à linha do cafeeiro.

Para determinar o diâmetro da base do ramo ortotrópico, as mensurações foram realizadas nos dois ramos ortotrópicos a 5 cm acima do local da recepa, com o auxílio de um paquímetro (precisão de 0,01 mm).

Os valores de cada variável foram expressos como o incremento no período avaliado, subtraindo o valor inicial setembro 2015 daquele obtido na avaliação final junho 2016.



### **3.5 - Análises estatísticas**

#### **3.5.1 Variáveis edafoclimáticas e de produtividade**

Para as variáveis umidade do solo (%), temperatura do solo (°C), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e produtividade do cafeeiro (kg/ha) foram calculadas as médias e seus desvios-padrão.

#### **3.5.2 Variáveis ecofisiológicas**

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC) em parcela subdividida, sendo as parcelas compostas pelos tratamentos dos cafeeiros às macaúbas (Figura 2) e as sub-parcelas consistiram dos três períodos (seco/quente, chuvoso/quente e seco/frio). A unidade experimental foi um pé cafeeiro, com 5 repetições. Foi realizada a análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas, quando necessário, pelo teste de Tukey com  $\alpha = 0,10$ . As análises foram realizadas no programa SAEG versão 9.1.

#### **3.5.3 Crescimento do cafeeiro**

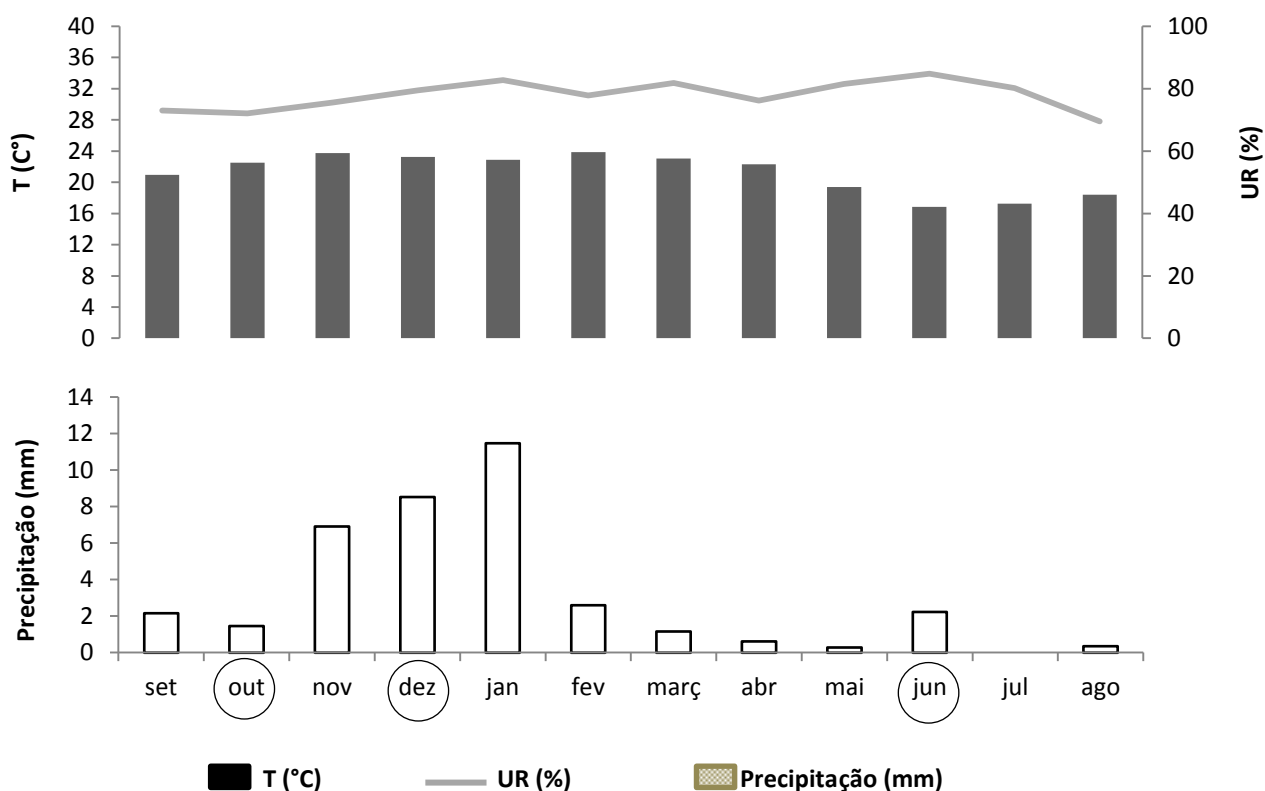
As variáveis de crescimento dos cafeeiros foram avaliadas no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 10 repetições. A unidade experimental foi constituída por um pé de cafeeiro. Foi realizada a análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey com  $\alpha = 0,05$ . As análises foram realizadas no programa SAEG versão 9.1.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 - Temperatura, precipitação, radiação fotossinteticamente ativa e umidade do solo

#### 4.1.1 Temperatura e Umidade do ar

As características climáticas médias durante a condução do experimento encontram-se na Figura 3. As variáveis monitoradas nos três períodos de coleta (outubro, dezembro e junho) encontram-se dentro das médias do histórico para a região da Zona da Mata de Minas Gerais.



**Figura 3** - Valores médios da temperatura e umidade relativa do ar e precipitação total em estação meteorológica, setembro de 2015 a agosto de 2016, Viçosa – MG.

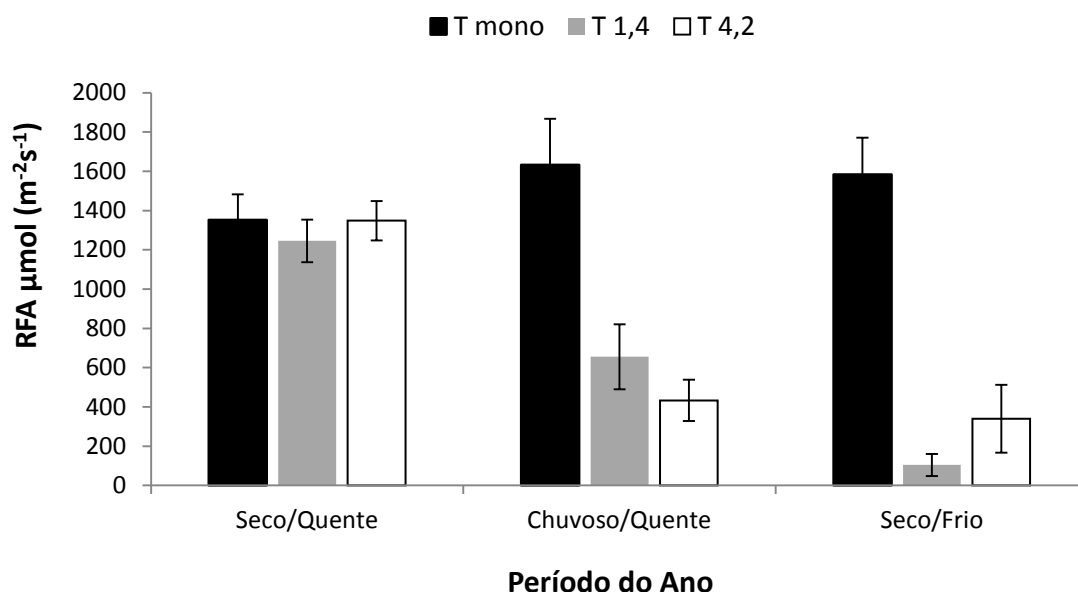
O mês outubro, característico por ser o final período seco, com baixo índice pluviométrico mas, já com temperaturas mais elevadas, apresentou umidade do ar média em torno de 72% e uma temperatura média de 22,5 °C.

Em dezembro de 2015, época de verão na região, período de grande volume de precipitação, houve um acréscimo de 7% de UR, em comparação com o mês de outubro, resultando em média de 79% de umidade do ar durante todo mês. A temperatura manteve-se similar ao período anterior.

Na época seca/fria, referente a época de colheita do café, a média da umidade do ar encontrada foi de 84%, e a temperatura média decresceu a 16 °C.

#### 4.1.2 Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA)

A Figura 4 apresenta os valores de Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente nos cafeeiros durante os períodos de avaliação, registrados nos três tratamentos avaliados.



**Figura 4** - Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA - média e desvio padrão) incidente nos cafeeiros em três períodos avaliados, seco e quente – outubro 2015, chuvoso e quente - dezembro 2015, seco e frio - junho de 2016, entre 10:00 às 10:30 h em três áreas experimentais: Cafeeiros a Pleno sol/monocultivo (T mono), cafeeiros próximos da macaúba 1,40m (T <sub>1,4</sub>), cafeeiros distantes da macaúba 4,20m (T <sub>4,2</sub>). Médias 30 mensurações por área – Viçosa – MG.

No período Seco/Quente a RFA foi similar nas três áreas avaliadas, apresentando média geral de  $1.315,3 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  (pleno sol:  $1.351,8 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ; próximo/macaúba:  $1.348,7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , distante/macaúba  $1.245,4 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). No período Chuvoso/Quente houve aumento na incidência de radiação, quando comparado com o período anterior. O cafeeiro a pleno sol/monocultivo esteve exposto à intensidade de RFA mais elevada do que os cafeeiros avaliados em associação com as palmeiras. A

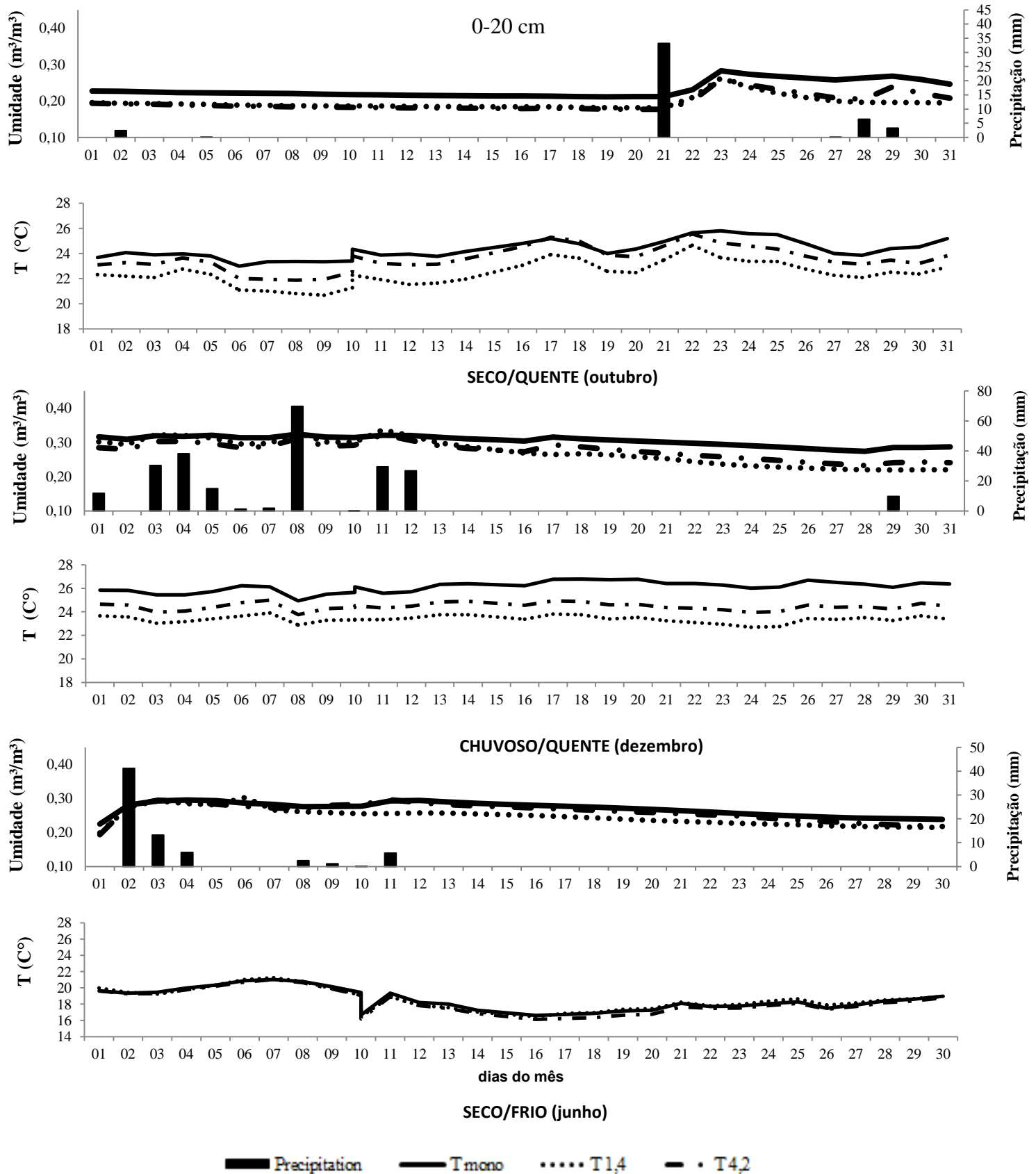
RFA incidente sobre o cafeeiro a pleno sol/monocultivo foi de  $1.632,2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Já os cafeeiros associados a macaúba tanto próximo como distante da palmeira a RFA decresceu drasticamente: na fileira mais próxima a RFA foi de  $655,1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , enquanto que na fileira mais distante da macaúba a RFA foi de apenas  $432,7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Esses resultados demonstram que de fato a palmeira interfere no ambiente luminoso do cafeeiro, possivelmente devido à interceptação da radiação pelo dossel. Porém a intensidade desta interferência dependerá da distância entre a cultura do cafeeiro e a arbórea.

No período Seco/Frio, período este com início da seca e frio na região, a RFA apresentou variação maior entre os tratamentos. Nos cafeeiros a pleno sol/monocultivo, a RFA foi de  $1.584 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Já no plantio consorciado, a RFA foi de  $339,9$  e  $104,1 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  para as fileiras mais distantes e próximas, respectivamente. Neste período as palmeiras promoveram maior sombreamento sobre fileiras dos cafeeiros, se comparado com os valores da mesma estação do ano anterior Seco/Quente. Isso possivelmente ocorreu em virtude da maior área do dossel, resultante da emissão e desenvolvimento de novas frondes foliares.

Nos três períodos avaliados, comparando as áreas, a maior incidência de RFA foi encontrada no Chuvoso/Quente, dezembro de 2015, seguido de junho de 2016, período Seco/Frio. A mais baixa foi período Seco/Quente (outubro de 2015).

#### **4.1.3 Umidade do solo**

A Figura 5 apresenta os resultados de temperatura, umidade do solo e precipitação nos três períodos de avaliação.



**Figura 5** - Umidade ( $m^3/m^3$ ) e temperatura ( $^{\circ}C$ ) do solo (camada de 0-20 cm), e precipitação diária acumulada em 24 horas (mm) em três períodos na área experimental Seco/Quente – outubro 2015, Chuvoso/Quente – dezembro 2015 e Seco/Frio – junho de 2016. Composta por cafeeiros a pleno sol/monocultivo ( $T_{Mono}$ ), cafeeiros próximo da macaúba a 1,40m ( $T_{1,4}$ ) e cafeeiros mais distante da macaúba 4,20m ( $T_{4,2}$ ).

A umidade do solo de (0-20 cm) no período Seco/Quente foi mais elevada nos cafeeiros a pleno sol/monocultivo em comparação às fileiras próximas e distantes da macaúba. Contudo, após a precipitação mais intensa, essa diferença entre os três tratamentos foi reduzida, sendo que o solo do cafezal a pleno sol/monocultivo apresentou umidade mais elevada em relação às situações de consórcio tanto próximo como distante das palmeiras. Porém, a umidade do solo nas fileiras de café próximas e distantes da macaúba permaneceram similares durante maior parte deste período Seco/Quente. Somente ao final deste período, após uma precipitação de 33,2 mm, observou-se maior umidade justamente no solo associada à fileira de café mais distante da palmeira. Possivelmente isso ocorreu devido a maior extração de água do solo no tratamento onde cafeeiros e macaúba estavam mais próximos, o que configura uma situação de maior competição entre os dois componentes.

Em relação à temperatura do solo, observa-se que o padrão desta variável foi similar nos três tratamentos, com as temperaturas mais baixas registradas nos tratamentos de consórcio, a mais baixa delas justamente no solo da fileira de cafeeiros mais próximos à macaúba. Isso possivelmente ocorreu pelo fato de que, durante o período diurno, as palmeiras proporcionaram sombreamento sobre a fileira do cafeeiro minimizando efeitos da radiação direta sobre o solo. As avaliações de RFA para esse período demonstram que as fileiras dos cafeeiros mais próximos das palmeiras apresentaram menor incidência de RFA do que as fileiras dos cafeeiros mais distantes das palmeiras. Desta forma pode ter proporcionado a redução de temperatura do solo ao longo do mês avaliado.

No Período Chuvoso/Quente, houve maior precipitação nas duas primeiras semanas, contribuindo para o aumento médio da umidade do solo nos três tratamentos.

O cafeeiro a pleno sol/monocultivo apresentou resultados mais elevados de umidade no solo do que aqueles da fileira próxima e distante da palmeira. A umidade do

solo dos cafeeiros a pleno sol/monocultivo manteve-se parcialmente sem oscilações até o final do mês.

Quando ocorreu precipitação na área, a diferença de umidade do solo entre os sistemas foi pequena. Após o último dia de chuva e com o passar dos dias sem precipitação as diferenças de umidade do solo começaram a aparecer e aumentar entre os sistemas de cultivo. O solo dos cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentou umidade mais elevada que os solos dos cafeeiros associados às árvores nos SAF. Nos cafeeiros associados com as palmeiras, a fileira dos cafeeiros mais distante manteve umidade do solo pouco mais elevada em comparação à fileira dos cafeeiros mais próximos da palmeira, possivelmente devido à maior extração e absorção de água da palmeira, resultando em menor umidade do solo nesse período.

Em dezembro, período Quente/Chuvoso, a temperatura do solo apresentou resultado diferente do obtido no fim do período Seco/Quente. A temperatura do solo nas fileiras do cafeeiro a pleno sol/monocultivo foi mais elevada que nas demais fileiras avaliadas. A fileira do cafeeiro mais distante da palmeira apresentou temperatura do solo mais elevada comparado com a mais próxima das macaúbas e isso pode ter ocorrido possivelmente pelo efeito do sombreamento das folhas da palmeira sobre a fileira do cafeeiro. A menor entrada de radiação direta sobre o solo resulta assim em temperaturas mais amenas nas fileiras dos cafeeiros mais próximas e distantes das palmeiras.

No período Seco/Frio, junho de 2016, período de frio e início da seca na região, a precipitação de chuvas ocorreu apenas na primeira quinzena do mês, e o maior volume de chuva (41mm) ocorreu nos primeiros dias do mês. De forma similar o que ocorreu no período Chuvoso/Quente, dezembro 2015, a diferença de umidade neste mês de junho foi pequena ou inexistente nas três áreas dos cafeeiros nos dias de chuvas. Já após o



último dia de chuva e com o passar dos dias, a umidade começou a se diferenciar entre as áreas.

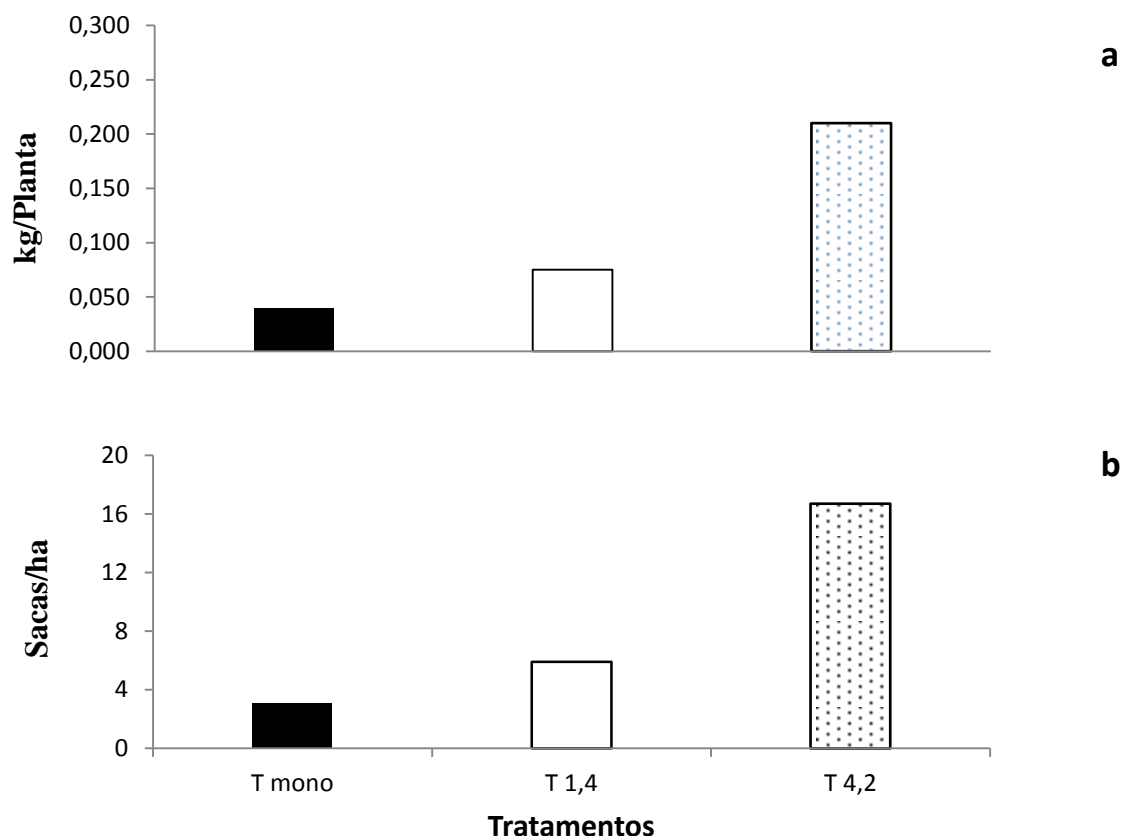
No decorrer de todo mês de junho Seco/Frio o solo dos cafeeiros a pleno sol/monocultivo e na fileira mais afastada apresentaram umidades similares, ambas mais elevadas que a encontrada no solo dos cafeeiros localizados na fileira mais próxima da macaúba. Nos últimos dias do mês, com o acúmulo do número de dias sem chuva, a umidade do solo dos cafeeiros associados à macaúba nas duas distâncias passou a ser similar e mais baixa que do solo de cafeeiros a pleno sol/monocultivo. Isso ocorreu possivelmente devido a influência na absorção de água da palmeira, gerando uma possível interferência negativa para o cafeeiro.

A temperatura do solo em junho de 2016, período Seco/Frio, seguiu a tendência esperada para este período na região Zona da Mata, quando a temperatura do solo decresceu em comparação com os outros períodos. A temperatura do solo dos cafeeiros nas três áreas avaliadas do início até término do mês mantiveram-se baixas. Além disso, a diferença da temperatura do solo entre os três sistemas foi pequena, diferentemente do que ocorreu nos dois outros períodos avaliados.

No dia 10 de junho ocorreu uma queda acentuada da temperatura do solo, isso provavelmente ocasionado por baixas temperaturas no ambiente durante a noite. A presença das macaúbas não minimizou as oscilações de temperatura do solo no período frio e seco, por meio da proteção física na perda de calor do solo no período noturno. Isso possivelmente devido as características da macaúba de não ser uma espécie caducifólia e que poderia depositar biomassa sobre o solo, servindo como barreira e proteção às variações de temperatura (AZEVEDO *et al.*, 2002)

## 4.2 - Produtividade do cafeeiro.

Figura 6 apresenta a primeira produção dos cafeeiros em 2016, após a recepa em 2014.



**Figura 6** - Média produtividade por planta (**a**) e produção de café beneficiado em sacas de 60 kg (**b**) em cafeeiros a pleno sol/monocultivo ( $T_{Mono}$ ), cafeeiros próximos da macaúba 1,40m ( $T_{1,4}$ ) e cafeeiros distantes da macaúba 4,20m ( $T_{4,2}$ ). Média de 10 mensurações por tratamento.

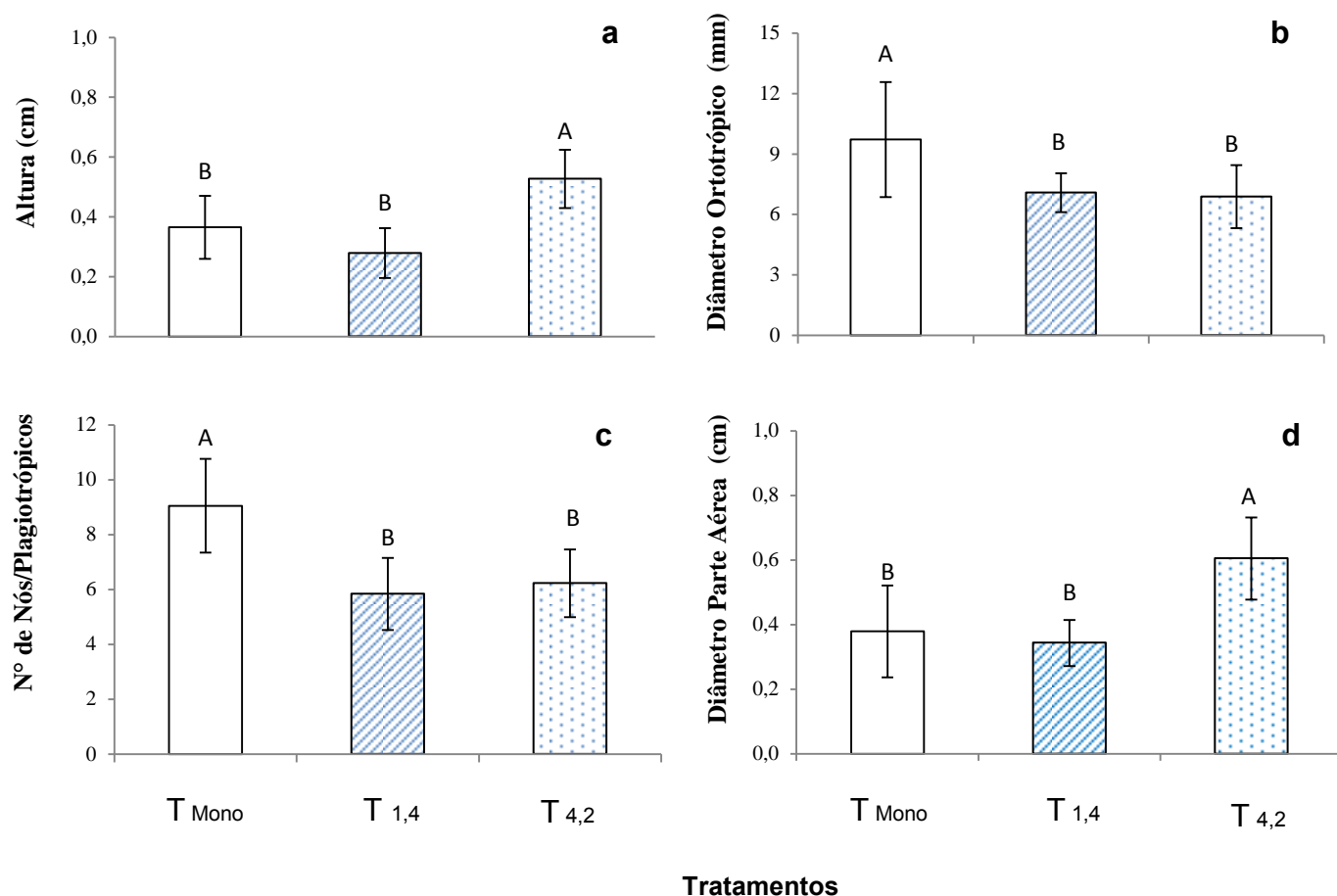
O cafeeiro, após a recepa, apresentou nova frutificação em 2015/2016, quando proporcionou produtividade pequena. Em geral, o cafeeiro no seu primeiro ano apresenta produtividade muito reduzida se comparado com sua potencialidade de produção, a qual se verifica após terceiro ou quarto ano, quando a planta entra na fase adulta. A fileira do cafeeiro mais distante da macaúba apresentou maior produtividade de frutos (0,210 kg de café beneficiado por planta), correspondendo 16,70 sacas/ha. Por

sua vez, os cafeeiros mais próximos das palmeiras produziram 0,075 kg de café beneficiado por planta, correspondendo uma produção de 5,97 sacas/ha. Já os cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentaram a menor produtividade dos três sistemas avaliados, 0,040 kg de café beneficiado por planta que corresponde a 3,19 sacas/ha.

Dessa forma, a produção do cafeeiro associado com a palmeira, em ambos os espaçamentos foi mais elevada do que o cultivo solteiro/monocultivo, sendo que nas fileiras mais distantes a produtividade foi o triplo da fileira de cafeeiros mais próximos das palmeiras.

### 4.3 - Crescimento dos cafeeiros

A Figura 7 apresenta os resultados de incremento em altura, números de nós, diâmetro do caule e dossel dos cafeeiros cultivados solteiros/monocultivo ou associados à macaúba em duas distâncias de cultivo.



**Figura 7** – Incremento anual (setembro de 2015 a junho de 2016) de crescimento em altura (a); diâmetro ramo ortotrópico - caule- (b); Número total de nós ramos plagiotrópicos (c) diâmetro da parte aérea - dossel- (d) em cafeeiros a pleno sol/monocultivo (T Mono), cafeeiros próximos da macaúba 1,40m (T 1,4), cafeeiros distantes da macaúba 4,20m (T 4,2). As barras indicam desvio padrão, média de 10 mensurações por tratamento. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ).

Após um período de crescimento (setembro de 2015 a junho de 2016), cafeeiros apresentaram maior crescimento em altura nas fileiras mais distantes das palmeiras do que aqueles cultivados a pleno sol/monocultivo ou na menor distância da macaúba. Os cafeeiros a pleno sol/monocultivo cresceram similarmente em altura aos cafeeiros localizados mais próximos das palmeiras.

Em relação a diâmetro do caule, cafeeiros cultivados a pleno sol/monocultivo apresentaram maior valor médio do que os cafeeiros cultivados associados à macaúba, os quais apresentaram diâmetro do caule similares entre si, aproximadamente 7 mm.

Cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentaram maior número de nós (nove em média) comparados aos cafeeiros dos tratamentos associados com as palmeiras, nos quais o número de nós não diferiram. Isso indica que na colheita dos frutos no ano de 2017, a segunda após o cafeeiro ter sido recepado, a produção dos cafeeiros a pleno sol/monocultivo possivelmente será maior do que os cafeeiros cultivados em associação com as palmeiras.

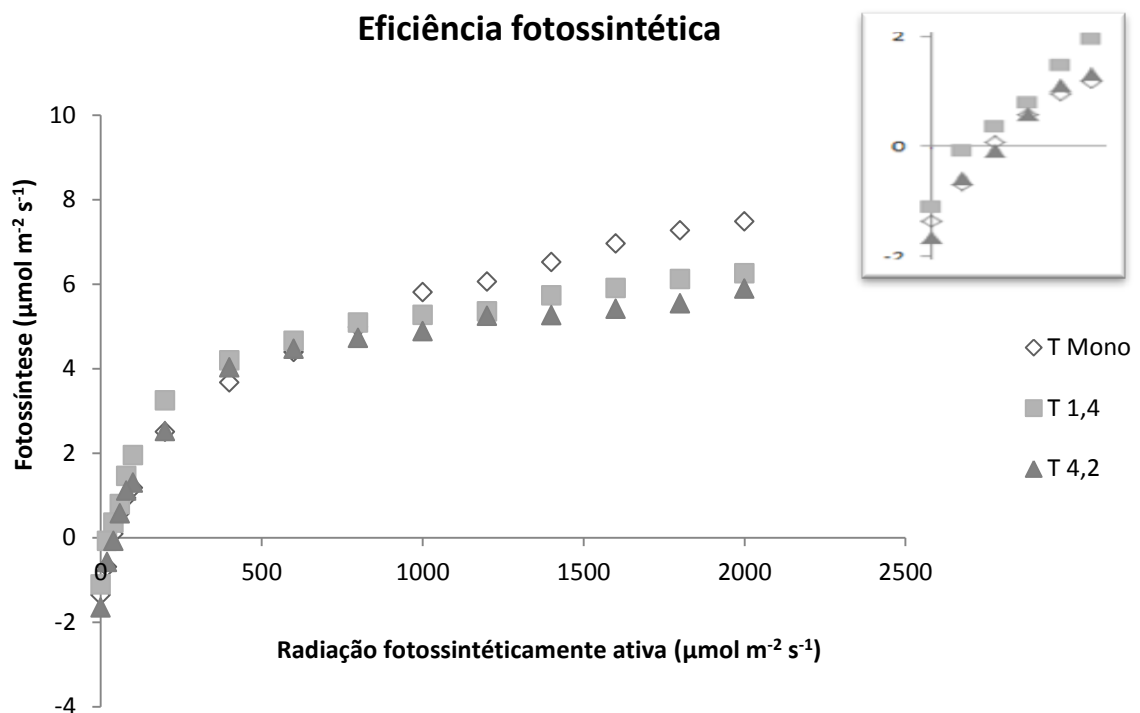
O diâmetro do dossel de cafeeiros mais distantes da palmeira foi maior do que os demais. Cafeeiro a pleno sol/monocultivo e aqueles localizados na fileira mais próximo da macaúba foram similares quanto ao incremento de diâmetro da parte aérea.

No final do período Seco/Quente (outubro de 2015), cafeeiros cultivados a pleno sol/monocultivo perderam maior área foliar do que aqueles associados com a macaúba, possivelmente como mecanismo para minimizar o stress causado pela seca e alta incidência de luz. Contudo durante período diurno, quando a radiação solar é mais intensa (entre 11:00 e 15:00 h), as folhas das palmeiras podem ter proporcionado maior sombreamento nas fileiras dos cafeeiros mais próximos e mais distantes. Essa redução da incidência da radiação pode ter gerado condições de menor stress para o cafeeiro, acarretando menor perda das folhas nos cafeeiros associados à macaúba.

#### 4.4 - Eficiência no uso da luz

A Figura 8 contém a eficiência do uso da luz dos cafeeiros nos três tratamentos.

A eficiência do uso da luz do cafeeiro assumiu uma tendência similar nos três tratamentos, ou seja, hiperbólica exponencial. Entretanto, nos cafeeiros associados à macaúba a saturação ao incremento de RFA foi mais precoce em relação a resposta obtida nos cafeeiros a pleno sol/monocultivo.



**Figura 8** - Eficiência fotossintética dos cafeeiros em tres sistemas, cafeeiros cultivados a pleno sol/monocultivo ( $T_{\text{Mono}}$ ), cafeeiros nas fileiras próxima da macaúba 1,40m ( $T_{1,4}$ ) e fileiras distante da macaúba 4,20m ( $T_{4,2}$ ).

Os cafeeiros nas fileiras próximas da macaúba apresentaram um ponto de compensação luminoso menor que ( $22,44 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) indicando que as plantas nesse tratamento aproveitam a energia luminosa de forma mais precoce e eficiente, em relação aos cafeeiros a pleno sol/monocultivo e distantes da macaúba,  $37,22$  e  $40,99 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , respectivamente (Tabela 2). A eficiência quântica ( $EQ$ ) foi maior e similar nos cafeeiros

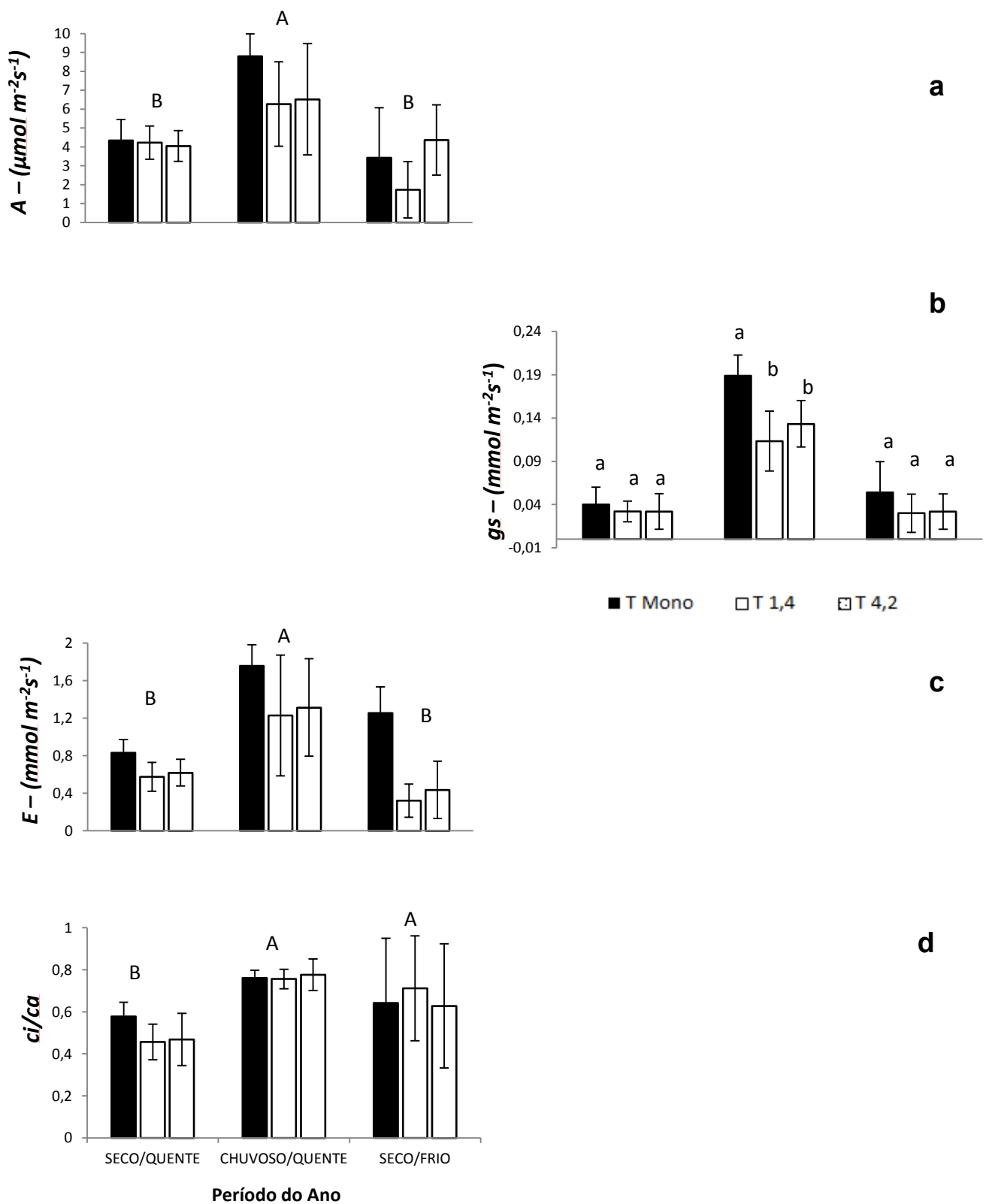
associados com as palmeiras (0,041 mol/mol), diferentemente de cafeeiros a pleno sol/monocultivo (0,025 mol/mol). A respiração dos cafeeiros a pleno sol/ monocultivo e cafeeiros próximo das macaúba foram parcialmente similar 0,92 e 0,94  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , e menores que a das plantas distante da macaúba (1,44  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

**Tabela 2:** Valores estimados da taxa respiratória ( $R_d$ -  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), ponto de compensação luminoso ( $PCL$ -  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), eficiência quântica ( $EQ$  - mol/mol) e fotossíntese máxima ( $A_{max}$ -  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ), médias  $\pm$  desvio padrão em três sistemas, cafeeiros a pleno sol/monocultivo ( $T_{\text{Mono}}$ ) cafeeiros próximos da macaúba 1,40 m ( $T_{1,4}$ ) e cafeeiros distantes da macaúba 4,20 m ( $T_{4,2}$ ).

TRATAMENTOS	$R_d$	$EQ$	$PCL$	$A_{max}$
$T_{\text{Mono}}$	0,92 $\pm$ 0,79	0,025 $\pm$ 0,010	37,22 $\pm$ 26,47	10,71 $\pm$ 6,08
$T_{1,4}$	0,94 $\pm$ 0,57	0,041 $\pm$ 0,019	22,44 $\pm$ 11,23	7,73 $\pm$ 2,38
$T_{4,2}$	1,44 $\pm$ 0,82	0,041 $\pm$ 0,015	40,99 $\pm$ 19,14	7,46 $\pm$ 1,82

#### 4.5 - Trocas Gasosas dos cafeeiros

A Figura 9 apresenta os resultados dos parâmetros de trocas gasosas do cafeeiro nos 3 períodos e sob as 3 condições de crescimento, a pleno sol/monocultivo, próximo da macaúba e distante da macaúba.



**Figura 9** – Média dos parâmetros, (a) fotossíntese ( $A$ ), (b) condutância estomática ( $g_s$ ), (c) transpiração ( $E$ ), (d) Razão entre a concentração estimada de carbono no interior da câmara sub-estomática e a concentração atmosférica ( $C_i/C_a$ ), em três sistemas, cafeeiros a pleno sol/monocultivo ( $T_{\text{Mono}}$ ), cafeeiros próximo da macaúba 1,40 m ( $T_{1,4}$ ), Cafeeiros distante da Macaúba 4,20 m ( $T_{4,2}$ ). Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo Teste Tukey ( $\alpha = 0,10$ ). As barras indicam desvio padrão. Médias de 5 mensurações.



Não houve efeito de interação período  $\times$  distância ou da distância sobre a fotossíntese ( $A$ ) dos cafeeiros. Houve somente efeito isolado do período do ano sobre a fotossíntese das plantas. A fotossíntese foi superior no período Chuvoso/Quente em relação aos demais períodos de avaliação, independente dos tratamentos. A ( $A$ ) no período Seco/Quente foi similar ao período Seco/Frio. Sendo assim, a presença da palmeira não configura uma situação de prejuízo para fotossíntese nos cafeeiros. Porém, a manutenção da ( $A$ ) em patamares similares durante o período seco (seja este Seco/Quente ou Seco/frio) indica que a presença do componente arbóreo pode, em algum nível, atenuar as condições desfavoráveis impostas pela escassez de chuvas.

Houve efeito de interação do período  $\times$  distancia, e efeitos das distâncias da macaúba dentro do período avaliado sobre a condutância estomática ( $g_s$ ). No período Chuvoso/Quente os valores de  $g_s$  foram consistentemente maiores (média  $\sim 0,14$ ) que nos outros dois períodos de avaliação (Seco/Quente e Seco/ Frio), permitindo as maiores taxas de fotossíntese ( $A$ ) e transpiração ( $E$ ). Os menores valores de  $g_s$  nos períodos de seca possivelmente se relacionam com a resposta de fechamento estomático ante a escassez hídrica no solo e o maior déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar, visto que nestas épocas a umidade do ar foi mais baixa.

A  $g_s$  também variou entre os tratamentos, sendo maior nos cafeeiros a pleno sol/monocultivo. Desta forma pode-se afirmar que a presença da palmeira interfere na abertura estomática do café, possivelmente devido às condições de microclima; menor luminosidade e menor temperatura, como detectado nos cafeeiros associados às palmeiras, são situações onde a resposta dos estômatos pode ocorrer de forma mais lenta.

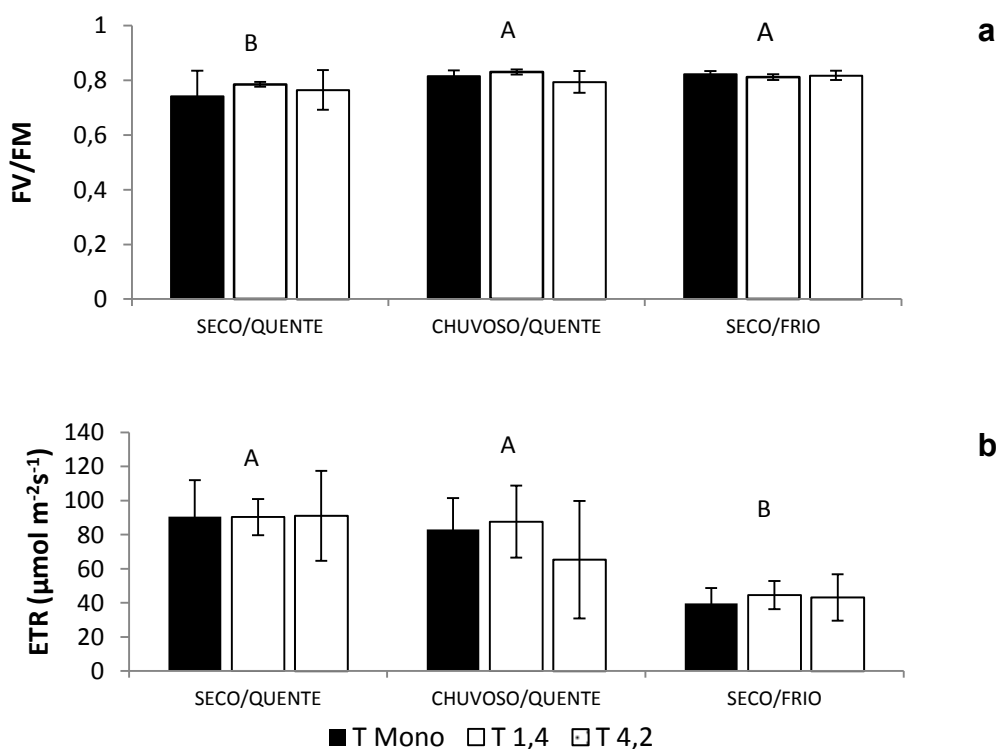
Em relação a transpiração ( $E$ ) não houve efeito da interação período  $\times$  distância. Houve efeito isolado do período do ano e da distância das macaúbas. A transpiração dos cafeeiros foi similar entre aqueles mais distantes e mais próximos das macaúbas.

Contudo, cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentaram maior transpiração que aqueles associados às palmeiras. A transpiração dos cafeeiros no período Seco/Quente foi similar ao Seco/Frio. Contudo, a transpiração no período Chuvoso/Quente foi superior aos demais períodos, com valores cerca de duas vezes maiores daqueles encontrados nas outras épocas.

A razão entre a concentração estimada de carbono no interior da câmara subestomática e a concentração atmosférica ( $C_i/C_a$ ) foi influenciada somente pelo período do ano. Não houve efeito da interação de período  $\times$  distância e nem distância sobre a razão  $C_i/C_a$ . O cafeeiro apresentou resultados de  $C_i/C_a$  mais elevados e similares entre si no período Chuvoso/Quente e Seco/Frio. Já no período Seco/Frio a  $C_i/C_a$  foi menor do que os outros dois períodos. A menor razão de ( $C_i/C_a$ ) foi verificada em Seco/Quente. Tais resultados podem ser atribuídos a menor abertura dos estômatos nos períodos secos que limitou a entrada de  $CO_2$  na câmara subestomática.

#### 4.6 - Fluorescência da clorofila a

Não houve efeito de interação período  $\times$  distância ou da distância sobre a eficiência fotoquímica máxima do fotossistema PSII (avaliada pela razão Fv/Fm). Houve efeito isolado do período do ano. Na Figura 10 estão apresentados resultados da fluorescência dos cafeeiros, Fv/Fm, e ETR.

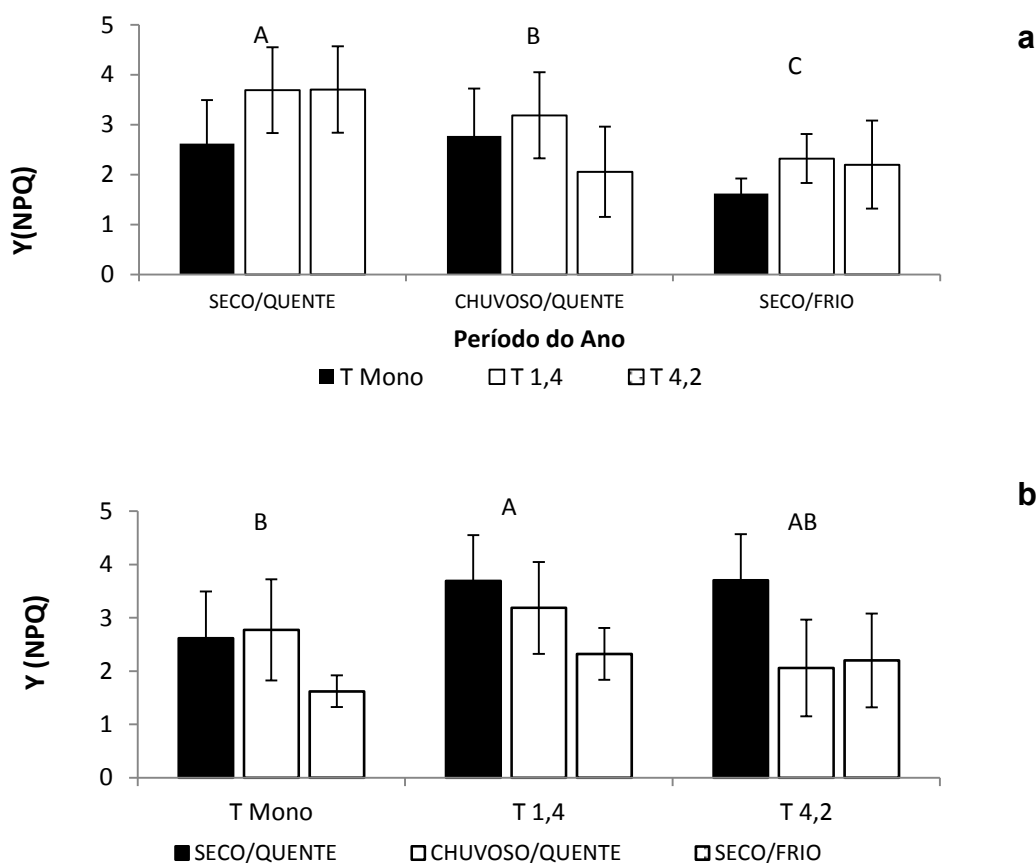


**Figura 10** - Média geral dos parâmetros **(a)** Eficiência Fotoquímica Máxima do Fotossistema PSII (Fv/Fm); **(b)**Taxa de Transporte de Elétrons (ETR) em cafeeiros a pleno sol/monocultivo ( $T_{Mono}$ ), cafeeiros próximos da macaúba 1,40m ( $T_{1,4}$ ), cafeeiros distantes da macaúba 4,20m ( $T_{4,2}$ ). Letras maiúsculas distintas indicam diferenças significativas entre os tratamentos ( $\alpha = 0,10$ . Teste de Tukey). As barras indicam desvio padrão. Médias de 5 mensurações, Viçosa MG.

Nos três períodos avaliados houve maior eficiência fotoquímica (Fv/Fm) no período Chuvoso/Quente e Seco/Frio, enquanto que a menor razão de (Fv/Fm) foi encontrado no período Seco/Quente. Isso possivelmente pode ter ocorrido devido a exposição prolongada à estiagem e as baixas temperaturas do inverno, que juntos predispõem a planta à fotooxidação quando estas ficam expostas ao excesso de energia solar.

A taxa de transporte de elétrons não foi influenciada pela interação de período  $\times$  distância e nem pela distância isoladamente. Houve efeito isolado apenas do período do ano. Os cafeeiros apresentaram maiores taxas de transporte de elétrons no período Seco/Quente e Chuvoso/Quente. Já no período Seco/Frio a taxa de transporte de elétrons foi menor que a verificada nos outros dois períodos.

Em relação à dissipação do excesso de energia no fotossistema II através da perda de calor  $Y$  (NPQ), não houve efeito da interação período  $\times$  distância. Contudo houve efeito isolado tanto do período do ano quanto das distâncias das macaúbas (Figura 11 a, b).



**Figura 11** - Média geral dos parâmetros **(a)** - Rendimento Quântico de Dissipação Regulada de Energia -  $Y$  (NPQ) *entre os tratamentos*, cafeeiros a pleno sol/monocultivo ( $T_{Mono}$ ), próximo da macaúba 1,40m ( $T_{1,4}$ ) e distante da macaúba 4,20m ( $T_{4,2}$ ); **(b)** - Rendimento Quântico de Dissipação Regulada de Energia -  $Y$  (NPQ) *entre os períodos*. Letras maiúsculas distintas indicam diferenças significativas entre os tratamentos e os períodos de avaliação, ( $\alpha = 0,10$ . Teste de Tukey). As barras indicam Desvio Padrão. Médias de 5 mensurações, Viçosa MG.

A perda de calor foi maior nos cafeeiros do consórcio com as macaúbas, do que o cultivado a pleno sol/monocultivo. No entanto, cafeeiros localizados a pleno sol/monocultivo ou distantes das palmeiras apresentaram valores médios de Y (NPQ) menores e similares, quando comparado com cafeeiros mais próximos das palmeiras. A perda de calor nos três períodos avaliados difere entre si. A menor perda de calor foi encontrada no período Seco/Frio. Os três períodos avaliados não foram similares entre si, demonstrando que a perda de calor ocorre de forma diferente nesses três períodos (Seco/Quente, Chuvoso/Quente e Seco/Frio).

## 5. Discussão

### Microclima

A intensidade de Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) no período Seco/Quente foi menor que os outros dois períodos avaliados, possivelmente devido a maior nebulosidade neste período. Tanto em cafeeiros a pleno sol/monocultivo, como próximos e distantes das palmeiras não houve diferença na RFA. Nos cafeeiros tanto próximos como distantes as folhas das palmeiras não proporcionaram redução da entrada de luz sobre o dossel dos cafeeiros neste período e horário. Isso ocorreu devido a posição do sol nesse período e hora na área do experimento. Neste período a incidência dos primeiros raios solares em ambos os sistemas iniciava-se por volta das 7:00 horas da manhã e se estendia até as 10:00 h. Outro fator que pode ter contribuído para este resultado é que nesse período, que corresponde ao ápice da seca, folíolos da macaúba apresentam um maior enrolamento devido possivelmente à escassez hídrica do solo. Este enrolamento reduz transitoriamente a área foliar do dossel e consequentemente propicia maior penetração de luz no sub-bosque, tanto nas fileiras próximas e como distantes das palmeiras.

Em relação ao cafeeiro observou-se que a pleno sol/monocultivo as plantas apresentaram, visualmente, maior perda de folhas, resultando na perda de parte da área foliar. Na folhagem remanescente nas plantas observou-se, em sua maioria, o processo de envelopamento (retorcimento foliar). Já em cafeeiros associados às palmeiras, tanto nas fileiras próximas quanto nas distantes, não ocorreu esses dois processos de redução de superfície fotossintetizante. Esses fenômenos, igualmente ao que foi observado na macaúba são mecanismos de auto preservação, em resposta a excessiva luminosidade e baixa umidade do solo nesse período.

No período Chuvoso/Quente e Seco/Frio a RFA dos cafeeiros a pleno sol/monocultivo foi mais elevada do que no período anterior, porém houve efeito de

redução de entrada de luz direta sobre o dossel dos cafeeiros, tanto nas fileiras dos cafeeiros próximos como distante das palmeiras. A entrada de RFA no sub-bosque neste período Chuvoso/Quente foi maior nos cafeeiros próximos que nos cafeeiros distante das palmeiras. O contrário ocorreu no período Seco/Frio, onde maiores valores de RFA ocorreram nos cafeeiros mais distantes. Esta alternância temporal na disponibilidade de RFA revela uma provável influência da posição e movimentação do eixo da terra em relação ao sol. Há o possível benefício das palmeiras na redução do excesso RFA sobre os cafeeiros no período Chuvoso/Quente e Seco/frio, períodos que coincidem com o lançamento e a expansão mais vigorosos de novas folhas, e os folíolos não sofrem enrolamento. Nesses períodos a RFA nos cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentou os maiores valores e a presença das palmeiras no consórcio proporcionou redução da entrada de luz e conseqüentemente condições mais amenas de temperatura e da temperatura foliar dos cafeeiros.

Segundo MOREIRA, (2015) em experimento na mesma área de estudo (cafeeiros em associação com macaúba), obteve menores valores de RFA nas fileiras mais próximas das palmeiras  $667,2 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  que nas fileiras mais distantes  $1,771,6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , demonstrando assim que nas fileiras mais próximas ocorre maior nível de sombreamento dos cafeeiros.

De acordo com MONTOYA, (2016) em trabalho com *Brachiaria decumbens* associadas com macaúba em diferentes densidades de plantio, a radiação fotossinteticamente ativa no sub-bosque encontrada nas maiores densidades de plantio (4,5 x 4,5; m / 5 x 4 m / e 6 x 4 m) não ultrapassou os  $590 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Já entre as épocas avaliadas, enquanto que o monocultivo *Brachiaria decumbens*, a RFA período seco foi de  $2.313,0 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  e no período chuvoso de  $1.820,9 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ . Estes resultados demonstram os efeitos das folhas das palmeiras na interceptação do excesso de radiação no sub-bosque e altos níveis de RFA na região no período seco.

## **Crescimento e produção**

Os cafeeiros nas fileiras mais distantes das macaúbas, produziram mais no primeiro ano, possivelmente devido às melhores condições micro-ambientes proporcionados pelo consórcio com as palmeiras, como redução da RFA nas horas com maior incidência de luz, além da menor perda de biomassa foliar do cafeeiro no período mais crítico, sendo este Seco/Quente.

Outro fator que pode ter contribuído para a melhor produção do cafeeiro em (T<sub>4,2</sub>) refere-se ao ambiente microclimático favorável no período Quente/Chuvoso, que corresponde a fase de enchimento dos grãos. Nos cafeeiros das fileiras mais distantes as condições do sub-bosque provavelmente possibilitaram a alocação de carboidratos para a produção dos frutos. Diferentemente, nos cafeeiros sob pleno sol/monocultivo, pode ter ocorrido a divisão dessa energia produzida para a produção dos frutos e crescimento, para a produção de substâncias foto-protetoras e ou antioxidantes e para a recuperação posterior de sua biomassa foliar. Já cafeeiros mais próximos das palmeiras a menor produção pode estar relacionada ao excesso de sombreamento e competição por nutrientes e água no solo entre os dois componentes. Em regiões onde condições climáticas são favoráveis aos cafeeiros, a alta produção sob sombreamento depende das características do solo e do nível de sombreamento (JARAMILLO-BOTERO *et al.*, 2006).

Os frutos tanto em cafeeiros próximos como distantes das palmeiras apresentaram maturação homogênea, e a maior parte dos grãos já no estado cereja enquanto que cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentaram maturação dos frutos mais lenta, apresentando frutos com maturação desuniforme, tanto no tamanho como em sua maioria verdes, secos e poucos em estado cereja. Segundo MATIELLO & COELHO, (1999) o sombreamento uniformiza a maturação dos frutos dos cafeeiros. Já MIGUEL *et al.*, (1995) em trabalho cafeeiros associados com *Grevillea robusta*



relatam que houve uma maturação mais lenta tardio devido ao sombreamento dos cafeeiros. De acordo com JARAMILLO-BOTERO *et al.*, (2007) cafeeiros em diferentes níveis de sombreamento, apresentam atraso na maturação dos frutos, de forma que o maior índice dos frutos maturaram no mês de julho.

De acordo com MOREIRA, (2015) em trabalho na mesma área, em dois anos de (2013- 2014) houve maior produção em cafeeiros nas fileiras mais distantes da macaúba seguido de cafeeiros a pleno sol. Este fato condiz com os resultados de MEDINA, (2015) que relata que as fileiras dos cafeeiros mais distantes da macaúba, em 2015, apresentaram maior crescimento em altura e em número de nós, proporcionando assim no ano seguinte 2016, uma maior produção comparados aos demais cafeeiros. No presente trabalho, os cafeeiros mais distantes da macaúba apresentaram maior crescimento em altura e no diâmetro do dossel, enquanto que cafeeiro a pleno sol/monocultivo obteve maior diâmetro do caule e em números de nós, desta forma é provável que na próxima safra (2017), os cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentem uma produção mais elevada comparada aos cafeeiros associados às macaúbas.

Dados semelhantes foram encontrados por RICCI *et al.*, (2006) onde o sombreamento dos cafeeiros em consorcio com banana (*Musa* sp. var. Prata Comum) e eritrina (*Erythrina verna*) reduziu o diâmetro do caule, o número de ramos produtivos e de nós por ramos, mas aumentou a área foliar e o peso dos grãos, permitindo a obtenção de produção semelhante ao cultivo a pleno sol. Já os mesmos autores em outro trabalho relatam maiores altura, área foliar, diâmetro de copa, números de ramos e folhas nos ramos do que cafeeiros cultivado a pleno sol (RICCI *et al.*, 2011).

Segundo CARELLI *et al.*, (2001) em dois anos de avaliação, os cafeeiros sombreados apresentaram aumento da área e a massa foliar e comprimento dos internódios e diâmetro das copas. Dados esses similares encontrados nesse trabalho

onde cafeeiros mais distantes das palmeiras obteve maior crescimento em altura, diâmetro do dossel.

De acordo com TATAGIBA *et al.*, (2010) em trabalho com mudas de cafeeiros em diferentes níveis de sombreamento, cafeeiros sombreados com 22 e 50% apresentaram maior crescimento vegetativo do que cafeeiros a pleno sol e alto sombreamento (88%) que apresentaram crescimento vegetativo reduzido. Houve uma tendência de aumento da área foliar e da altura dos cafeeiros com o aumento do sombreamento enquanto o diâmetro do caule foi menor ou reduzido pelo alto sombreamento de 88%. Dados esses corroboram os de DA MATTA, (2003) onde mudas de cafeeiros crescem melhor a sombra que a pleno sol, podendo estar relacionado à fotoinibição da fotossíntese a pleno sol ou a elevada resistência radicular a absorção de água, o que acarreta geralmente o fechamento estomático.

## **Ecofisiologia**

### ***Curva de luz***

As plantas dos cafeeiros próximo da macaúba, onde apresenta maior nível de sombreamento, foram mais eficientes no uso da luz, uma vez que apresentaram reposta de incremento de Amax a menores valores de RFA em relação aos tratamentos pleno sol/monocultivo e distante da macaúba. Esta tendência é comum em plantas sombreadas e permite que as mesmas aproveitem ofertas mínimas de luz no sub-bsoque, auxiliando sua sobrevivência nestas condições de restrição luminosa (SCHULZE *et al.*, 2002).

Similarmente MARTINS, (2011) observou que cafeeiros sombreados apresentam resposta ao uso da luz mais eficientes que aqueles cultivados a pleno sol. No mesmo estudo cafeeiros a pleno sol apresentaram Amax cerca de 32% maior do que cafeeiros sombreados, comportamento esse semelhante dos cafeeiros associados com a

macaúba encontrado neste experimento. Da mesma forma, SANTOS, (2014) em experimento com gladiolo ‘Amsterdam’ obteve valores de ponto de compensação luminoso PCL e Amax menores em plantas cultivadas sob 50% de sombreamento em relação as de pleno sol. .

Os cafeeiros associados às palmeiras, tanto as fileiras próximas como distantes da macaúba apresentaram níveis de fotossíntese similares e menores quando comparados com cafeeiros a pleno sol/monocultivo. Obviamente, uma maior oferta luminosa tende a causar um incremento da assimilação de carbono na maioria das espécies vegetais, visto que a disponibilidade de luz constitui um dos principais fatores limitantes do processo fotossintético. Entretanto, esta menor assimilação líquida de carbono dos cafeeiros sombreados pode ser compensada pela maior eficiência quântica (EQ), como observado, e pelo prolongamento da atividade fotossintética devido ao retardo da senescência das folhas nessas plantas (observação visual) em relação as plantas a pleno sol. A similaridade das taxas respiratória dos cafeeiros nos três tratamentos revela que as plantas tendem a manter um aproveitamento similar de carboidratos, quer seja para crescimento ou para a manutenção, e demonstra a capacidade das mesmas aclimatarem-se à condição vigente.

### ***Medidas pontuais***

No período Seco/Quente os valores de assimilação líquida de carbono (A) foram menores do que nas outras épocas e similares nos três ambientes de estudo (cafeeiros a pleno sol/monocultivo, próximo e distante das palmeiras). Sabendo que a resposta de trocas gasosas entre as folhas e a atmosfera é resultante de inúmeros fatores, é possível que o histórico da temperatura, a baixa precipitação, a baixa umidade relativa do ar, e baixa umidade no solo, tenham em conjunto, contribuído para os menores valores de A observado neste período que corresponde ao final do período de estiagem na região.

Além desses fatores, a Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA), pode ter proporcionando aumento na temperatura foliar dos cafeeiros. Neste período tanto as fileiras próximas como as mais distantes não houve uma redução ou interceptação da radiação direta sobre dossel dos cafeeiros no horário que foram realizadas as avaliações. Esses fatores resultaram em redução na abertura estomática, gs, de forma que ocasionou uma menor razão de (Ci/Ca) nas plantas. Com a redução na abertura estomática, e pouca água no solo e alta RFA, houve baixa transpiração, e menores valores de taxa fotossintética dos cafeeiros nos três tratamentos. Padrão similar de resposta foi observado nos cafeeiros nos 3 tratamentos no período Seco/Frio, quando a redução de (A) foi também consequência de uma menor abertura estomática.

Segundo MORAIS *et al.*, (2003) cafeeiros sob sombreamento denso com guandu apresentaram menores taxas de transpiração e fotossíntese, devido à diminuição da radiação fotossintética durante a maior parte do período experimental, provocando redução no número de estômatos, na espessura no mesofilo, onde tais características estão estreita e negativamente relacionadas ao processo de fotossíntese

De acordo com MORAES, (2008) em trabalho com mudas de cafeeiros em diferentes horários durante o dia 08:00; 12:00; 16:00, os valores máximos de fotossíntese líquida (A) e abertura estomática (gs) as 8:00h são encontrados em cafeeiros a pleno sol do que em cafeeiros sombreados.

Mas resultado oposto foi encontrado por FREITAS *et al.*, (2003) também em trabalho com mudas de cafeeiros. As maiores taxas fotossintéticas (A) e condutância estomática (gs) ocorreu em cafeeiros com 70% e 50% sombreado do que cafeeiros a pleno sol, devido ao horário das avaliações que foi realizado entre 11:30 as 14:30, demonstrando que o sombreamento proporcionou condições mais favoráveis aos cafeeiros nesse horário.

No período Chuvoso/Quente, as respostas dos cafeeiros ocorreram de forma diferente. Nesse período a temperatura do ambiente manteve-se alta, a umidade relativa do ar e a umidade do solo foram maiores, decorrentes de um maior regime de chuvas, favorecendo a abertura estomática (gs) e conseqüentemente o processo fotossintético, que foi maior do que no período anterior. Uma maior abertura estomática promoveu também maior transpiração (E) dos cafeeiros, mas diferentemente do período anterior, o solo apresentou maior volume de água disponível para as plantas, não configurando uma situação de estresse. Esses fatores relacionados com abertura estomática e maior fixação de CO<sub>2</sub> gerou aumento na fotossíntese (A) nos cafeeiros a pleno sol/monocultivo, próximo e distante das palmeiras. A maior abertura estomática e transpiração nos cafeeiros a pleno sol/monocultivo do que cafeeiros próximos e distantes das palmeiras e a similar razão de (Ci/Ca) nos três sistemas indica que cafeeiros a pleno sol/monocultivo foram mais eficientes fotoquimicamente do que os cafeeiros associados com as palmeiras, resultando em maiores taxas fotossintéticas.

No período Seco/Frio em ambos os sistemas (cafeeiros a pleno sol/monocultivo como associados com as palmeiras fileiras próximas e distantes) a abertura estomática (gs) foi menor que o período anterior Chuvoso/Quente, mas a razão (Ci/Ca) foi alta para ambos, demonstrando que a fixação de CO<sub>2</sub> não estava ocorrendo, gerando dessa forma redução na fotossíntese em ambos os sistemas, tanto em cafeeiros em monocultivo como associados com as palmeiras.

Resultados diferentes foram encontrados por AFONSI *et al.*, (2005) que relatam que quando há disponibilidade de água no solo, a fotossíntese (A), condutância estomática (gs) e transpiração (E) são semelhantes entre si, não havendo diferença no período avaliado, pela manhã de 9:00 às 11:00 h como a tarde das 14:00 às 16:00 h.

O decréscimo da fotossíntese (A) tanto em cafeeiros a pleno sol/monocultivo como associados com as palmeiras, no período Seco/frio quando comparado com

período anterior, está associado com o declínio na umidade relativa do ar, temperaturas e umidade do solo. Resultados similares foram encontrados por DA MATTA *et al.*, (1997), em experimento em Viçosa em dois períodos inverno e verão com café arábica e conilon. Os autores relatam que encontraram valores reduzidos de condutância estomática (gs) e fotossíntese (A) no inverno.

Segundo GOMES *et al.*, (2008), há redução significativa da taxa fotossintética (A) na estação seca, indicando que a baixa disponibilidade de água no solo, associada à maior demanda evaporativa da atmosfera, fechamento estomático, limitando a fotossíntese dos cafeeiros, tanto em cafeeiros sombreados quanto a pleno sol. De acordo com SILVA *et al.*, (2004), quando há maior disponibilidade de água no solo, maior é a condutância estomática, refletindo maiores valores nas taxas fotossintéticas.

### ***Fluorescência da Clorofila***

Os resultados da Eficiência Fotoquímica Máxima do Fotossistema PSII de (Fv./Fm) demonstram que as plantas de cafeeiros a pleno sol/monocultivo e associados distante e próximo as fileiras das palmeiras foi significativamente menor no período Seco/Quente do que os outros períodos Chuvoso/Quente e Seco/Frio (figura 9). Isso demonstra que nesse período os cafeeiros estavam, independente dos tratamentos, potencialmente sob stress. O próprio processo da fotossíntese é um eficiente dreno ou dissipador de energia oriunda do RFA, obstáculos ao seu evento - como a redução em gs observada nas plantas no período seco/quente – desencadeiam uma sequência de eventos relacionadas ao estresse luminoso, ou fotooxidação. Em tais circunstâncias o excesso de energia de excitação é dissipado por outros meios, incluindo a emissão fluorescência pela clorofila *a* (redução nos valores de Fv/Fm) ou na forma de calor controlado (KRAUSE & WINTER,1996).

Segundo MACANA, (2012) em trabalho com cafeeiros a pleno sol e com cafeeiros sombreado com 15% de radiação disponível, observou mesmo com disponibilidade hídrica adequada um decréscimo na razão Fv/Fm em plantas de sol comparados com cafeeiros à sombra de 6,4, e 21,5 % na antemanhã e ao meio-dia, respectivamente isso em função da disponibilidade de luz.

CHAVES, (2005) em trabalho com cafeeiros a pleno sol e 50% de sombreamento em três épocas distintas (agosto e dezembro 2003 e outubro de 2004) obteve maiores valores de Fv/Fm em cafeeiros sombreados do que a pleno sol nas três épocas, sendo que em outubro os valores dos cafeeiros sombreados foram acima de (0,80) e em agosto tanto a pleno sol como a de sombra obteve os menores resultados, sugerindo ocorrência de fotoinibição crônica.

Segundo NASCIMENTO *et al.*, (2006) em trabalho com cafeeiros a pleno sol/monocultivo e associados com seringueiras os valores obtidos de Fv/Fm demonstram que as plantas de cafeeiros a pleno sol apresentaram maior eficiência do sistema antena para a absorção e transferência de energia luminosa, do que cafeeiros associados com as seringueiras, o que foi comprovado pelos maiores valores da fotossíntese líquida.

A taxa de transporte de elétrons (ETR) no período Seco/Quente foi similar nos cafeeiros dos três tratamentos. Já no período Chuvoso/Quente, cafeeiros próximos das macaúbas obtiveram maiores taxas de transporte de elétrons seguidos de cafeeiros a pleno sol/monocultivo e mais distantes das palmeiras. Este resultado pode estar relacionado às condições microclimáticas e edáficas no sub-bosque proporcionadas pelas palmeiras, gerando redução de radiação sobre dossel dos cafeeiros, bem como menores oscilações de temperatura e umidade atmosférica e do solo.

No período Seco/Frio observou-se menores valores de ETR em todos os tratamentos a pleno sol/monocultivo, próximos e distantes da macaúba, quando

comparado com os outros dois períodos avaliados Chuvoso/Quente, Seco/Quente. Cafeeiros associados com as palmeiras, tanto próximo como distante, obtiveram maiores valores de ETR e sendo similar entre si. Já cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentaram menores valores em comparação aos associados com as palmeiras. Esses menores valores em ambos os sistemas a pleno sol/monocultivo e associados as palmeiras no período Seco/Frio provavelmente foram influenciados pelas baixas temperaturas e a estiagem, uma vez que este período corresponde a estação de inverno na região.

Nas plantas o ETR indica a quantidade relativa de elétrons que passa através do PSII durante a fotossíntese (YOUNG & FRANK, 1996) e favorecendo a assimilação de CO<sub>2</sub>, quando disponível. De acordo com GURURANI *et al.*,(2015), por algumas condições ambientais que comprometem a fixação de CO<sub>2</sub>, promove redução no transporte de elétrons. De fato, SILVA, (2017) em trabalho com 4 genótipos de soja sob déficit hídrico, observou queda na taxa de transporte de elétrons de todos os genótipos, mas após a reidratação das plantas todos os genótipos recuperaram a ETR para o mesmo nível de seus respectivos controles.

Em relação ao Rendimento Quântico de Dissipação Regulada de Energia Y(NPQ), cafeeiros a pleno sol obtiveram menor perda de calor comparados com os cafeeiros associados com as palmeiras, tanto nas fileiras próximas e distantes das palmeiras onde foram similares. Esse comportamento dos cafeeiros associados as palmeiras pode ter ocorrido como mecanismo de proteção e uma forma de dissipação de energia nesse período, visto que a RFA neste período foi similar em ambos os tratamentos, tanto em cafeeiros a pleno sol como cultivados no subbsoque.

No período Quente/Chuvoso o cafeeiro próximo das palmeiras apresentou maiores valores de Y (NPQ), seguido pelos cafeeiros a pleno sol/monocultivo e distante das palmeiras. Já no período Seco/Frio quando ocorreu decréscimo na temperatura e



umidade da ar e do solo, a dissipação via Y(NPQ), foi menor em ambos tratamentos pleno sol/monocultivo e proximo da macaúba, quando comparados com os periodos anteriores avaliados (Seco/Quente, Chuvoso/Quente). Entretanto, as fileiras dos cafeeiros distante da macaúba mantiveram a dissipação de calor similar ao periodo anterior Quente/Chuvoso não obetendo descrécimo. Neste periodo de baixas temperaturas e colheita dos frutos, cafeeiros próximo da macaúba apresentaram maior dissipação de energia seguido de cafeeiros mais distante e a pleno sol/monocultivo.

Outro fator observado nos três períodos avaliados, é que cafeeiro a pleno sol/monocultivo apresentou menor perda de calor via Y(NPQ). É provável que cafeeiros a pleno sol, sob altos índices de RFA, devido a maior gs, e consequentemente melhor disponibilidade de CO<sub>2</sub>, tenham efetivamente direcionado a energia para a via fotoquímica, e mantendo a temperatura foliar em parte pela transpiração; já nos cafeeiros próximos das palmeiras a dissipação do excesso de energia ocorreu via ciclo das xantofilas (carotenoides), como demonstrado pelos valores de Y(NPQ) .

Segundo CATEN, (2007) em trabalho com *coffea caneplora* clone 109A, às 8 horas da manhã obteve maior dissipação de energia em cafeeiros a pleno sol do que associados a sombra em renques de seringueira. Já às 12:00 horas, houve aumento na dissipação de calor das plantas, tanto em cafeeiros a pleno sol como associados com as seringueiras *Hevea brasiliensis*, isso devido ao maior índice de irradiância sobre as plantas neste horário.

Em trabalho com cafeeiros a pleno sol e a sombra MORAES, (2008) obteve maior perda de calor a pleno sol. No mesmo trabalho com as mudas em laboratório com diferentes níveis de irradiância sobre os cafeeiros apresentaram maior perda de calor via Y(NPQ) do que cafeeiros sombreados. Dados esses diferentes dos encontrados no presente trabalho, em que cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentaram geralmente

menor dissipação de energia do que os cafeeiros associados à macaúba, fato que merece uma investigação mais profunda.

## 6. CONCLUSÃO

No geral a diferença microclimática proporcionada pelo componente arbóreo interferiu nos padrões de fotossíntese dos cafeeiros no SAF, sendo que nos cafeeiros na fileira próxima como distante da macaúba, houve uma similaridade na fotossíntese líquida. Entretanto as variações na produção de cafeeiro possivelmente estão relacionadas, em maior peso com a fenologia de crescimento das plantas do que necessariamente com as trocas gasosas.

As palmeiras associadas com os cafeeiros proporcionam redução na entrada de luz sobre o dossel das plantas no sub-bosque nos períodos Chuvoso/Quente e Seco/Frio.

As fileiras dos cafeeiros mais distantes das palmeiras tiveram maior crescimento em altura e diâmetro do dossel, enquanto que cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentaram maior número de nós e diâmetro do caule.

No primeiro ano de avaliação da produção, após a recepa, cafeeiros mais distantes das macaúbas apresentaram uma produção 3 vezes maior que cafeeiros nas fileiras próximas das macaúbas e a pleno sol/monocultivo. Mas é necessário observar o segundo ano da produção dos cafeeiros devido a bianualidade da produção nesta espécie.

Cafeeiros no período Seco/Quente e Seco/Frio apresentam valores semelhantes em relação a trocas gasosas, com valores menores que os verificados com o período Chuvoso/Quente. Já no período Chuvoso/Quente os cafeeiros a pleno sol/monocultivo apresentaram maiores valores de fotossíntese que cafeeiros associados com as palmeiras tanto próximo como distante da macaúba, devido as melhores condições edafoclimáticas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 2., 2008.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; JUNIOR, J. Z.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.

AZEVEDO, A. A.; CAMPANILI, M.; PEREIRA, C. Caminhos para uma Agricultura Familiar sob Bases Ecológicas: Produzindo com Baixa Emissão de Carbono. Brasília, DF. 224p, 2015.

AZEVEDO, M.F.R.; LIMA, P. C.; ESPÍNDOLA, J. A. A.; MOURA, W. M. Conversão de cafezais convencionais em orgânicos. **Informe Agropecuário**, v. 23, n. 214/215, p. 53-61, 2002.

CAMARGO, M. B. P. The impact of climate variability and climate change on Arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*, Campinas. V. 69, p. 239-247, 2010.

CARAMORI, P. H.; KATHOUNIAN, C. A.; MORAIS, H.; LEAL, A. C.; HUGO, R.G.; FILHO, A. A. Arborização de Cafezais e Aspectos Climatológicos. IN: **ARBORIZAÇÃO DE CAFEZAIS DO BRASIL**. Vitória da Conquista, Bahia, 213, p. 2004.

CARELLI, M. L. C; FAHL, J. I.; ALFONSINI, E. L. Efeito de níveis de sombreamento no crescimento e produtividade do cafeeiro. **SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL**, v. 2, 2001.

CATEN, Â. T. Trocas gasosas e metabolismo antioxidativo em *coffea caneplora* em resposta ao sombreamento promovido por *Hevea brasiliensis*. Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 44p, 2007.

CHAVES, A. R. M.. Fotossíntese e mecanismos de proteção contra estresse fotooxidativo em *Coffea arabica* L., cultivado em condições de campo sob dois níveis de irradiância. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa–MG (Tese (MS) 36. p, 2005.

CONAB. Café Brasil: Série histórica de produção: Disponível em: [http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15\\_01\\_14\\_11\\_57\\_33\\_boletim\\_cafe\\_janeiro\\_2015.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_01_14_11_57_33_boletim_cafe_janeiro_2015.pdf). Acesso em 20/05/2017

DA MATTA, F. M. Drought as multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. In: HEMANTARAJAN, A. (Ed.). *Advances in Plant Physiology*, Jodhpur: Scientific Publishers, V. 5. p. 227-265, 2003.

DA MATTA, F. M. Fisiologia do cafeeiro em sistemas arborizados. In: **Arborização de cafezais do brasil**. Vitoria da Conquista, Bahia, 213, p.2004.

DA VEIGA, J. B.; ALVES, C. P.; MARQUES, L. C. T.; VEIGA, D. F. da. Sistema silvipastoris na Amazônia Oriental. Belém: **Embrapa Amazônia Oriental**, Documento, 56 . 62p. 2000.

DO NASCIMENTO, E. A.; OLIVEIRA, L. E. M. de.; CASTRO, E. M. de.; FILHO, N. D.; MESQUITA, A. C.; Vieira, C. V. . Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, v. 36, n. 3, 2006.

FREITAS, R. B de.; OLIVIERA, L. E. M. de.; FILHO, N. D.; SOARES, A. M.. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e agrotecnologia**, v. 27, n. 4, p. 804-810, 2003.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J-M.; BAKER, N. R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects**, v. 990, n. 1, p. 87-92, 1989.

GOMES, I. A. C.; CASTRO, E. M. de.; SOARES, A. M.; ALVES, J. D.; ALVARENGA, M. I. N.; ALVES, E.; BARBOSA, J. P. R. A. D.; FRIES, D. D. Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv." Oeiras" sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, v. 38, n. 1, p. 109-115, 2008.

GURURANI, M. A.; VENKATESH, J.; TRAN, L. S. P. Regulation of photosynthesis during abiotic stress-induced photoinhibition. **Molecular plant**, v. 8, n. 9, p. 1304-1320, 2015.

JARAMILLO-BOTERO, C.; MARTINEZ, H. E. P.; SANTOS, R. H. S. Características do café (*Coffea arabica* L.) sombreado no norte da América Latina e no Brasil: análise comparativa. **Coffee Science**, v. 1, n. 2, p. 94-102, 2007.

JARAMILLO-BOTERO, C.; SANTOS, R. H. S.; MARTINEZ, H. E. P.; CECON, P.; SANTOS, C. R.; PERIN, A. Desenvolvimento reprodutivo e produção inicial de cafeeiros sob diferentes níveis de sombreamento e adubação. **revista Ceres**, v. 53, n. 307, 2006.

KRAMER, D. M.; Johnson, G., Kiirats, O., Edwards, G. E. New fluorescence parameters for the determination of Q A redox state and excitation energy fluxes. **Photosynthesis research**, v. 79, n. 2, p. 209-218, 2004.

KRAUSE, G. H.; WINTER, K. Photoinhibition of photosynthesis in plants growing in natural tropical forest gaps: a chlorophyll fluorescence study. *Bot. Acta*, v. 109, n. 6, p. 456-462, 1996.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica*: effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, New York, v. 16, n. 1, p. 13-19, 1980.

LIMA, M. A. de; ALVES, B. J. R. Vulnerabilidades, impactos e adaptação à mudança do clima no setor agropecuário e solos agrícolas. **Parcerias estratégicas**, v. 13, n. 27, p. 73-112, Brasília, DF. 2010.

LIMA, P. C.; CARDOSO, I. M.; SOUZA, H. N.; MOURA, W. M.; MENDONÇA, E. S.; CARVALHO, A. F. Sistemas de produção agroecológicos e orgânicos dos cafeicultores familiares da Zona da Mata Mineira. Cafeicultura familiar. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.26, 2005. Edição especial.

MACANA, Y. A. M.. Efeitos da disponibilidade de água e de luz no metabolismo fotossintético em *Coffea arabica*. 2012.

MARTINEZ, H. E. P.; SANTOS, R. H. S.; NEVES, Y. P.; BOTERO, C. J. Arborização de cafezais nas regiões sul e sudeste. IN: ARBORIZAÇÃO DE CAFEZAIS DO BRASIL. Vitória da Conquista, Bahia, 213, p. 2004.

MARTINS, S. C. V. Limitações e potencialidades da fotossíntese no cafeeiro em função da irradiância. 2011. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 154p, 2011.

MATIELLO, J. B.; COELHO, C. Observações fenológicas em cafeeiros Conilon cultivados com e sem arborização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca. Anais... Franca: MAA/ PROCAFÉ, 1999. p. 19-20.



MEDINA, J. M. Crescimento de recepas de cafeeiro e análise funcional dos microorganismos do solo em sistema agroflorestal com macaúba. 2016. Tese de mestrado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa – MG; 63, p. 2016.

MEDRADO, M. J. S. Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e indicações. Galvão, APM Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: Um guia para ações municipais e regionais. Brasília: **Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologia**, p. 269-312, 2000.

MIGUEL, A. E., MATIELLO, J. B., CAMARGO, A. P.; ALMEIDA, S. D., & GUIMARÃES, S. R. (1995). Efeitos da arborização do cafezal com *Grevillea robusta* nas temperaturas do ar e umidade do solo, Parte II. In *Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras* Vol. 21, p. 55-60. Rio de Janeiro: PROCAFE.

MONTOYA, S. G. D. Ecofisiologia e produtividade de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril com macaúba. Tese doutorado. Departamento de fitotecnia. Programa de pós-graduação em Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 93,p. 2016.

MORAES, G. A. B. K. de . Crescimento, fotossíntese e mecanismos de fotoproteção em mudas de café (*Coffea arabica* L.) formadas a pleno sol e à sombra. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 38 p. 2008.

MORAIS, H. Efeitos do sombreamento de cafeeiros (*Coffea Arabica* L.) com guandu (*Cajanus Cajan* (L.) Millsp.) no norte do Paraná. 118 f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 118 p, 2003.

MORAIS, H.; MARUR, C. J.; CARAMORI, P. H.; RIBEIRO, A. M. de A.; GOMES, J. C. Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, p. 1131-1137, 2003.

MOREIRA, S. L. S. Produtividade, qualidade do solo e aspectos microclimáticos em sistema agroflorestal de cafeeiro e macaúba. Dissertação mestrado – Departamento de solos. Programa de pós-graduação em Agroecologia. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 43,p. 2015.

MÜLLER, M. W.; RODRIGUES, A. C. G. Sistemas Agroflorestais com cacaueteiro. **Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacaueteiro. CEPLAC/CEPEC, Ilhéus**, p. 246-271, 2007.

NASCIMENTO, E. A. do.; OLIVEIRA, L. E. M. de.; CASTRO, E. M. de.; FILHO.; N. D.; MESQUITA, A. C.; VIEIRA, C. V. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciênc. rural**, v. 36, n. 3, p. 852-857, 2006.

NUNES, M. A.; RAMALHO, J. D. C.; DIAS, M. A. Effects of light and photosynthetic performance of leaves from coffee plants exposed to bright light. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 44, n. 262, p. 893-899, 1993.

RIBASKI, J.; MONTOYA, L. J.; RODIGLERI, H. R. Sistemas agroflorestais: aspectos ambientais e socioeconômicos. Agricultura Alternativa. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 212, set./out.2001.

RICCI, M. S. F.; Costa J. R.; Pinto A. N.; Santos, V. L. S. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília-DF, v. 41, n. 4, p. 569-575, 2006.

RICCI, M. S. F.; COSTA, J. R.; DE OLIVEIRA, N. G. Utilização de componentes principais para analisar o comportamento do cafeeiro a pleno sol e sombreado. **Coffee Science**, v. 6, n. 1, p. 44-54, 2011.

SAEG (2007) Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas. Versão 9.1. Viçosa, Fundação Arthur Bernardes. CD-ROM.

SANTOS, R. L. L. Características fitotécnicas e fisiológicas do gladiolo Amsterdam cultivado sob diferentes tipos de telas. 2014. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa–MG 154 p. 2014

SILVA, A. A. da. Estudo da resistência à seca em soja: avaliações fisiológicas, metabólicas e moleculares. Programa de Pós - Graduação em Fisiologia Vegetal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG 122,p . 2017

SILVA, V. A.; Salgado, S. M. L.; Sá L. A. de.; Reis, A. M.; Silveira, H. R. O.; Mendes, A. N. G.; Pereira, A. A. . Uso de características fisiológicas na identificação de genótipos de café arábica tolerantes ao *Meloidogyne paranaensis*. **Coffee Science**, v. 10, n. 2, p. 242-250, 2015.

SCHULZE, E.D.; E. BECK & K. MÜLLER-HOHENSTEIN. 2002. Plant ecology. Springer, Berlin.

TATAGIBA, S. D.; PEZZOPANE, J. E. M; DOS REIS, E. F.. Crescimento vegetativo de mudas de café arábica (*Coffea arabica* L.) submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p. 251-261, 2011

VAN KOOTEN, O.; SNEL, J. FH. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. **Photosynthesis research**, v. 25, n. 3, p. 147-150, 1990.

VEIGA, J. B.; SERRÃO, E. A. S. Sistemas silvipastoris e produção animal nos trópicos úmidos: a experiência da Amazônia brasileira. In: **SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**. Pastagens. Piracicaba: FEALQ, 1990. p.37-68.

Vieira, T. A.; Rosa, L. D. S.; Vasconcelos, P. C. S.; Santos, M. D.; Modesto, R. D. S.. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 04, p. 491-501, 2007.

YOUNG, A. L.; FRANK, H. A. Energy transfer reactions involving carotenoids: quenching of chlorophyll fluorescence. **J. Photochem. Photobiol. B: Biol.**, v. 36, n. 1, p. 3-15, 1996.

## 8. ANEXOS

### Crescimento dos cafeeiros

#### Número de Nós Ramos Plagiotrópicos dos Cafeeiros

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	2	61.52467	30.76233	14.820	0.00005
Resíduo	27	56.04500	2.075741		

Coeficiente de Variação = 20.475

T U K E Y

Variável = NOS (2.075741)

TRAT	Descrição	Dados	Médias	Comparações	5%
0		10	9.0500	A	
2		10	6.2200	B	
1		10	5.8400	B	

$Q(0.05, 27) = 3.508$  DMS = 1.5982

#### Diâmetro do caule dos cafeeiros

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	2	49.88600	24.94300	6.473	0.00505
Resíduo	27	104.0420	3.853407		

Coeficiente de Variação = 24.785

T U K E Y

Variável = DCAULE (3.853407)

TRAT	Descrição	Dados	Médias	Comparações	5%
0		10	9.7400	A	
1		10	7.1100	B	
2		10	6.9100	B	

$Q(0.05, 27) = 3.508$  DMS = 2.1775

### Diâmetro do dossel dos cafeeiros

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	2	0.4017617	0.2008808	14.561	0.00005
Resíduo	27	0.3724750	0.1379537E-01		

Coeficiente de Variação = 26.533

T U K E Y

Variável = DDOSEL (0.1379537E-01)

TRAT	Descrição	Dados	Médias	Comparações	5%
2		10	0.6050	A	
0		10	0.3795	B	
1		10	0.3435	B	

$Q(0.05, 27) = 3.508$      $DMS = 0.1303$

### Altura dos cafeeiros

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Signif.
TRAT	2	0.3171467	0.1585733	17.295	0.00001
Resíduo	27	0.2475500	0.9168519E-02		

Coeficiente de Variação = 24.531

T U K E Y

Variável = ALTURA (0.9168519E-02)

TRAT	Descrição	Dados	Médias	Comparações	5%
2		10	0.5270	A	
0		10	0.3650	B	
1		10	0.2790	B	

$Q(0.05, 27) = 3.508$      $DMS = 0.1062$

## Trocas Gasosas dos cafeeiros

### Fotossíntese (A)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	44	299.1325			
Total de Redução	20	211.9228	10.59614	2.92	0.0068
TRAT	2	14.23195	7.115976	2.03	0.1534
** ERRO (A) **	12	42.08109	3.506757		
EPOCA	2	129.0567	64.52836	17.76	0.0000
EPOCA*TRAT	4	26.55299	6.638249	1.83	0.1566
Resíduo	24	87.20974	3.633739		
Número de Dados =		45			
Média Geral =		4.8477			
Coef. de Variação =		39.323			

T U K E Y

Variável = FOTOSS (3.633739)

EPOCA	Descrição	Dados	Médias	Comparações 10%
2		15	7.1953	A
1		15	4.0840	B
3		15	3.2637	B
Q(0.10, 24) =		3.050	DMS =	1.5012

### Transpiração (E)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	44	20.09467			
Total de Redução	20	12.51322	0.6256609	1.98	0.0557
TRAT	2	2.790733	1.395367	4.86	0.0169
** ERRO (A) **	12	3.446888	0.2872407		
EPOCA	2	5.628541	2.814270	8.91	0.0013
EPOCA*TRAT	4	0.6470558	0.1617640	0.51	*****
Resíduo	24	7.581450	0.3158937		
Número de Dados =		45			
Média Geral =		0.93352			
Coef. de Variação =		60.207			

T U K E Y

Variável = TRANS (0.2872407)

TRAT	Descrição	Dados	Médias	Comparações 10%
0		15	1.2804	A
2		15	0.8126	B
1		15	0.7076	B

Q(0.10, 24) = 3.050 DMS = 0.4221

T U K E Y

Variável = TRANS (0.3158937)

EPOCA	Descrição	Dados	Médias	Comparações 10%
2		15	1.4336	A
3		15	0.6930	B
1		15	0.6740	B

Q(0.10, 24) = 3.050 DMS = 0.4426

### Condutância estomática (gs)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	44	0.1586212			
Total de Redução	20	0.1413027	0.7065136E-02	9.79	0.0000
TRAT	2	0.1071457E-01	0.5357284E-02	10.10	0.0007
** ERRO(A) **	12	0.6365926E-02	0.5304938E-03		
EPOCA	2	0.1177220	0.5886099E-01	81.57	0.0000
EPOCA*TRAT	4	0.6500247E-02	0.1625062E-02	2.25	0.0933
Resíduo	24	0.1731852E-01	0.7216049E-03		

Número de Dados = 45  
Média Geral = 0.72815E-01  
Coef. de Variação = 36.892



T U K E Y

Variável = CONDU (0.5304939E-03)

TRAT	Descrição	Dados	Médias	Comparações 10%
0		15	0.0942	A
2		15	0.0658	B
1		15	0.0584	B

Q(0.10, 24) = 3.050 DMS = 0.0181

T U K E Y

Variável = CONDU (0.7216049E-03)

EPOCA	Descrição	Dados	Médias	Comparações 10%
2		15	0.1451	A
3		15	0.0387	B
1		15	0.0347	B

Q(0.10, 24) = 3.050 DMS = 0.0212

T U K E Y

Variável = CONDU (0.7216049E-03)

Interação EPOCA x TRAT Comparações 10%

TRAT	1	2	3
0	0.04 B	0.19 A	0.05 B
1	0.03 B	0.11 A	0.03 B
2	0.03 B	0.13 A	0.03 B

T U K E Y

Variável = CONDU (0.7216049E-03)

Interação TRAT x EPOCA Comparações 10%

EPOCA	0	1	2
1	0.04 A	0.03 A	0.03 A
2	0.19 A	0.11 B	0.13 B
3	0.05 A	0.03 A	0.03 A

### Relação carbono interno e externo (Ci/Ca)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	44	1.847713			
Total de Redução	20	0.9597259	0.4798629E-01	1.30	0.2693
TRAT	2	0.9511928E-02	0.4755964E-02	0.16	*****
** ERRO(A) **	12	0.3651437	0.3042864E-01		
EPOCA	2	0.5291045	0.2645523	7.15	0.0037
EPOCA*TRAT	4	0.5596564E-01	0.1399141E-01	0.38	*****
Resíduo	24	0.8879872	0.3699947E-01		

Número de Dados = 45  
 Média Geral = 0.64213  
 Coef. de Variação = 29.955

T U K E Y

Variável = CI/CA (0.3699947E-01)

EPOCA	Descrição	Dados	Médias	Comparações 10%
2		15	0.7647	A
3		15	0.6607	A
1		15	0.5010	B

Q(0.10, 24) = 3.050 DMS = 0.1515

### (Fv/Fm) - Eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (FSII)

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	44	0.1023199			
Total de Redução	20	0.6312698E-01	0.3156349E-02	1.93	0.0622
TRAT	2	0.2778978E-02	0.1389489E-02	0.60	*****
** ERRO(A) **	12	0.2775427E-01	0.2312856E-02		
EPOCA	2	0.2688338E-01	0.1344169E-01	8.23	0.0019
EPOCA*TRAT	4	0.5710356E-02	0.1427589E-02	0.87	*****
Resíduo	24	0.3919293E-01	0.1633039E-02		

Número de Dados = 45  
Média Geral = 0.79816  
Coef. de Variação = 5.0630

T U K E Y

Variável = FVFM (0.1633039E-02)

EPOCA	Descrição	Dados	Médias	Comparações 10%
3		15	0.8174	A
2		15	0.8134	A
1		15	0.7637	B

Q(0.10, 24) = 3.050 DMS = 0.0318

### (ETR) – Taxa de Transporte de Elétrons

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	44	34624.58			
Total de Redução	20	24728.41	1236.421	3.00	0.0057
TRAT	2	441.5258	220.7629	0.60	*****
** ERRO(A) **	12	4432.700	369.3917		
EPOCA	2	18844.24	9422.120	22.85	0.0000
EPOCA*TRAT	4	1009.945	252.4862	0.61	*****
Resíduo	24	9896.168	412.3403		

Número de Dados = 45  
Média Geral = 70.616  
Coef. de Variação = 28.756

T U K E Y

Variável = ETR (412.3403)

EPOCA	Descrição	Dados	Médias	Comparações 10%
1		15	90.6533	A
2		15	78.6800	A
3		15	42.5133	B

Q(0.10, 24) = 3.050 DMS = 15.9912

### Y(NPQ) - Rendimento quântico de dissipação regulada de energia

Fontes de Variação	GL	Soma de Quadrado	Quadrado Médio	F	Sig.
Total	44	44.31109			
Total de Redução	20	29.59315	1.479658	2.41	0.0206
TRAT	2	4.022460	2.011230	2.82	0.0794
** ERRO(A) **	12	8.557188	0.7130990		
EPOCA	2	12.48887	6.244435	10.18	0.0006
EPOCA*TRAT	4	4.524632	1.131158	1.84	0.1532
Resíduo	24	14.71794	0.6132474		

Número de Dados = 45  
Média Geral = 2.6851  
Coef. de Variação = 29.164

T U K E Y

Variável = NPQ (0.7130990)

TRAT	Descrição	Dados	Médias	Comparações 10%
1		15	3.0664	A
2		15	2.6528	AB
0		15	2.3362	B

Q(0.10, 24) = 3.050 DMS = 0.6650

T U K E Y

Variável = Y(NPQ) (0.6132475)

EPOCA	Descrição	Dados	Médias	Comparações 10%
1		15	3.3372	A
2		15	2.6711	B
3		15	2.0471	C

$Q(0.10, 24) = 3.050$        $DMS = 0.6167$