

ALEX CARNEIRO LEAL

**AVALIAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS PARA ARBORIZAÇÃO DE
CAFEEIROS NO NORTE DO PARANÁ: EFEITOS NA PRODUTIVIDADE E NA
PROTEÇÃO CONTRA GEADAS DE RADIAÇÃO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Viana Soares.

**CURITIBA
2004**

AGRADECIMENTOS

Aos membros do meu comitê de orientação, professores Ronaldo Viana Soares e Antônio Carlos Batista e, em especial, ao Dr. Paulo Henrique Caramori, pelo incentivo para a realização deste trabalho.

Ao Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal e aos seus professores, funcionários e alunos pela generosa acolhida.

Ao Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR) pela oportunidade concedida para a realização do curso e aos colegas pesquisadores pela amizade e constante estímulo.

Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café pelo auxílio financeiro.

Ao Líder do Programa Café do IAPAR, Armando Androcioli Filho, por me ensinar um pouco sobre a cultura do café.

Aos técnicos agrícolas do IAPAR, João Gonçalves, Élcio C. Moreno e Paulo Rezende pelo auxílio na condução dos trabalhos de campo.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| LISTA DE TABELAS | VI |
| LISTA DE FIGURAS | VII |
| RESUMO..... | XII |
| ABSTRACT..... | XIII |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1 O CAFEIEIRO ARÁBICA..... | 3 |
| 2.1.2 Aspectos Ecofisiológicos | 4 |
| 2.2 ARBORIZAÇÃO DE CAFEIROS COMO SISTEMA AGROFLORESTAL..... | 12 |
| 2.2.1 Vantagens e Desvantagens da Arborização em Cafezais..... | 21 |
| 2.3 A REGIÃO CAFEIEIRA PARANAENSE..... | 26 |
| 2.3.1 As Experiências com Arborização de Cafezais no Paraná..... | 29 |
| 2.4 A SELEÇÃO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS | 31 |
| 2.4.1 A Estratégia de Seleção das Árvores | 40 |
| 2.4.2 Bracatinga | 41 |
| 2.4.3 Casuarina | 43 |
| 2.4.4 Leucena..... | 44 |
| 2.4.5 Grevílea | 44 |
| 2.4.6 Pinus | 46 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS | 47 |
| 3.1 EXPERIMENTO 1 - AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DE QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS COM O CAFEIEIRO. | 49 |
| 3.1.1 Instalação do Experimento e Delineamento Experimental | 49 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1.2 Amostragem das Variáveis e Equipamentos de Medição | 50 |
| 3.1.3 Análises Estatísticas..... | 54 |
| 3.2 EXPERIMENTO 2 - ARBORIZAÇÃO DE CAFEEIROS COM BRACATINGA | 55 |
| 3.2.1 Instalação do Experimento e Delineamento Experimental | 55 |
| 3.2.2 Amostragem das Variáveis e Equipamentos de Medição | 56 |
| 3.2.3 Análises Estatísticas..... | 57 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 58 |
| 4.1 EXPERIMENTO 1 – AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DE QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS COM O CAFEIEIRO | 58 |
| 4.1.1 Desenvolvimento das Árvores | 58 |
| 4.1.1.1 Crescimento em altura..... | 58 |
| 4.1.1.2 Crescimento em diâmetro (DAP)..... | 60 |
| 4.1.1.3 Desenvolvimento do diâmetro de copa | 61 |
| 4.1.2 Caracterização da Área de Influência das Quatro Espécies Florestais Através da Atenuação do Fluxo de Radiação Fotossinteticamente Ativa | 62 |
| 4.1.2.1 Casuarina | 62 |
| 4.1.2.2 Grevílea | 64 |
| 4.1.2.3 Leucena..... | 66 |
| 4.1.2.4 Pinus | 68 |
| 4.1.2.5 Comparação entre as espécies | 70 |
| 4.1.3 Caracterização da Área de Influência (AI) das Quatro Espécies Florestais por Meio da Temperatura das Folhas dos Cafeeiros | 72 |
| 4.1.3.1 Casuarina | 72 |
| 4.1.3.2 Grevílea | 75 |
| 4.1.3.3 Leucena..... | 78 |

| | |
|--|------------|
| 4.1.3.4 Pinus | 81 |
| 4.1.4 Produção de Café..... | 84 |
| 4.2 EXPERIMENTO 2 - ARBORIZAÇÃO DE CAFEEIROS COM BRACATINGA | 91 |
| 4.2.1 Desenvolvimento das Árvores de Bracatinga | 91 |
| 4.2.1.1 Crescimento em altura | 91 |
| 4.2.1.2 Crescimento em diâmetro (DAP)..... | 92 |
| 4.2.1.3 Produtividade da bracatinga | 93 |
| 4.2.1.4 Desenvolvimento do diâmetro de copa | 95 |
| 4.2.1.5 Evolução da cobertura do terreno pela copa da bracatinga | 96 |
| 4.2.2 Redução da Radiação Fotossinteticamente Ativa pela Arborização | 97 |
| 4.2.3 Temperatura das Folhas dos Cafeeiros | 98 |
| 4.2.3.1 Médias mensais nos tratamentos | 98 |
| 4.2.3.2 Temperatura das folhas ao longo do dia | 100 |
| 4.2.4 Produção de Café..... | 105 |
| 5 CONCLUSÕES | 107 |
| REFERÊNCIAS..... | 108 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|-----|
| TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO NAS ÁREAS EXPERIMENTAIS | 49 |
| TABELA 2 - PRODUÇÃO MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO (kg.ha ⁻¹) NA COLHEITA DE 2002 NAS FAIXAS DE DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES | 85 |
| TABELA 3 - PRODUÇÃO MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO (kg.ha ⁻¹) NA COLHEITA DE 2003 NAS FAIXAS DE DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES | 86 |
| TABELA 4 - PRODUÇÃO TOTAL MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO (kg.ha ⁻¹) NO BIÊNIO 2002-2003 NAS FAIXAS DE DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES | 88 |
| TABELA 5 - PRODUÇÃO TOTAL MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO (kg.ha ⁻¹) NO BIÊNIO 2002-2003 EM DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES | 89 |
| TABELA 6 - QUADRO DE ANOVA DOS VALORES DE PRODUÇÃO TOTAL DE CAFÉ BENEFICIADO (kg.ha ⁻¹) NO BIÊNIO 2002-2003..... | 105 |
| TABELA 7 - MÉDIAS DE PRODUÇÃO DE CAFÉ BENEFICIADO (kg.ha ⁻¹) NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES. ha ⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha ⁻¹), NAS COLHEITAS DE 2002, 2003 E TOTAL DO BIÊNIO..... | 106 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 1 - ESQUEMA DAS FASES FENOLÓGICAS DO CAFEIEIRO ARÁBICA NAS CONDIÇÕES BRASILEIRAS | 12 |
| FIGURA 2 - VISTA DO EXPERIMENTO 1..... | 48 |
| FIGURA 3 - VISTA DO EXPERIMENTO 2..... | 48 |
| FIGURA 4 - DETALHE DA PARCELA EXPERIMENTAL MOSTRANDO A POSIÇÃO DOS QUANTÔMETROS..... | 52 |
| FIGURA 5 - ALTURA TOTAL MÉDIA DAS ÁRVORES ATÉ OS SEIS ANOS E MEIO DE IDADE | 59 |
| FIGURA 6 - DIÂMETRO MÉDIO À ALTURA DO PEITO (DAP) DAS ÁRVORES ATÉ OS SEIS ANOS E MEIO DE IDADE | 60 |
| FIGURA 7 - DIÂMETRO MÉDIO DA COPA DAS ÁRVORES ATÉ OS SEIS ANOS E MEIO DE IDADE | 62 |
| FIGURA 8 - DENSIDADE DE FLUXO DE FÓTONS FOTOSSINTETICAMENTE ATIVOS INCIDENTE SOBRE AS COPAS DOS CAFEEIROS EM DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DA CASUARINA EM 23 DE OUTUBRO DE 2002 | 63 |
| FIGURA 9 - FRAÇÃO DO FLUXO TOTAL DIÁRIO DE FÓTONS FOTOSSINTETICAMENTE ATIVOS INCIDENTE NAS COPAS DOS CAFEEIROS A DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DA CASUARINA EM 23 DE OUTUBRO DE 2002 | 64 |
| FIGURA 10 - DFFFA INCIDENTE SOBRE AS COPAS DOS CAFEEIROS EM DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DA GREVÍLEA EM 17 DE AGOSTO DE 2003 | 65 |
| FIGURA 11 - FRAÇÃO DO FTFFA INCIDENTE NAS COPAS DOS CAFEEIROS A DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DA GREVÍLEA EM 17 DE AGOSTO DE 2003 | 66 |
| FIGURA 12 - DENSIDADE DE FLUXO DE RFA INCIDENTE SOBRE AS COPAS DOS CAFEEIROS EM DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DA LEUCENA EM 08 DE FEVEREIRO DE 2003 | 67 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 13 - FRAÇÃO DO FLUXO TOTAL DIÁRIO DE RFA INCIDENTE NAS COPAS DOS CAFEEIROS A DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DA LEUCENA EM 8 DE FEVEREIRO DE 2003 | 68 |
| FIGURA 14 - DENSIDADE DE FLUXO DE RFA INCIDENTE SOBRE AS COPAS DOS CAFEEIROS EM DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DO PINUS EM 25 DE SETEMBRO DE 2003 | 69 |
| FIGURA 15 - FRAÇÃO DO FLUXO TOTAL DIÁRIO DE RFA INCIDENTE NAS COPAS DOS CAFEEIROS A DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DO PINUS EM 25 DE SETEMBRO DE 2003..... | 70 |
| FIGURA 16 - LINHAS DE REGRESSÃO QUADRÁTICA DA FRAÇÃO DO FTFFA INCIDENTE SOBRE AS COPAS DOS CAFEEIROS A DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS 4 ESPÉCIES ARBÓREAS | 71 |
| FIGURA 17 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM CASUARINA, DAS 18:00 HORAS DO DIA 12 ÀS 23:45 HORAS DO DIA 13 DE JULHO DE 2003..... | 73 |
| FIGURA 18 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM CASUARINA NAS HORAS MAIS FRIAS DO DIA 13 DE JULHO DE 2003 | 74 |
| FIGURA 19 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM CASUARINA NAS HORAS MAIS QUENTES DO DIA 26 DE SETEMBRO DE 2002 | 75 |
| FIGURA 20 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM GREVÍLEA, DAS 18:00 HORAS DO DIA 2 ÀS 23:45 HORAS DO DIA 3 DE SETEMBRO DE 2002..... | 76 |
| FIGURA 21 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM GREVÍLEA NAS HORAS MAIS FRIAS DO DIA 3 DE SETEMBRO DE 2002 | 77 |

| | |
|---|----|
| FIGURA 22 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM GREVÍLEA NAS HORAS MAIS QUENTES DO DIA 24 DE NOVEMBRO DE 2002 | 78 |
| FIGURA 23 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM LEUCENA, DAS 00:00 HORA DO DIA 17 ÀS 14:45 HORAS DO DIA 18 DE AGOSTO DE 2003..... | 79 |
| FIGURA 24 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM LEUCENA NAS HORAS MAIS FRIAS DO DIA 18 DE AGOSTO DE 2003 | 80 |
| FIGURA 25 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM LEUCENA NAS HORAS MAIS QUENTES DO DIA 8 DE JANEIRO DE 2003 | 81 |
| FIGURA 26 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM PINUS, DAS 18:00 HORAS DO DIA 8 ÀS 23:45 HORAS DO DIA 9 DE JULHO DE 2002..... | 83 |
| FIGURA 27 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM PINUS NAS HORAS MAIS FRIAS DO DIA 9 DE JULHO DE 2002..... | 83 |
| FIGURA 28 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM PINUS NAS HORAS MAIS QUENTES DO DIA 23 DE SETEMBRO DE 2003 | 84 |
| FIGURA 29 - PRODUÇÃO MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO NA COLHEITA DE 2002 NAS FAIXAS DE DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES | 85 |
| FIGURA 30 - PRODUÇÃO MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO NA COLHEITA DE 2003 NAS FAIXAS DE DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES | 86 |
| FIGURA 31 - PRODUÇÃO TOTAL MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO NO BIÊNIO 2002-2003 NAS FAIXAS DE DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES | 88 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 32 - PRODUÇÃO TOTAL MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO NO BIÊNIO 2002-2003 EM DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES | 90 |
| FIGURA 33 - EVOLUÇÃO DA ALTURA TOTAL MÉDIA DAS BRACATINGAS NOS TRATAMENTOS T2 (555 ÁRVORES.ha ⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha ⁻¹) ATÉ OS DOIS ANOS DE IDADE | 92 |
| FIGURA 34 - EVOLUÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO À ALTURA DO PEITO (DAP) DAS BRACATINGAS NOS TRATAMENTOS T2 (555 ÁRVORES.ha ⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha ⁻¹) ATÉ OS DOIS ANOS DE IDADE..... | 93 |
| FIGURA 35 - EVOLUÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO DA COPA DAS BRACATINGAS NOS TRATAMENTOS T2 (555 ÁRVORES.ha ⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha ⁻¹) ATÉ OS DOIS ANOS DE IDADE..... | 95 |
| FIGURA 36 - EVOLUÇÃO PERCENTUAL DE COBERTURA DO TERRENO PELAS COPAS DAS BRACATINGAS NOS TRATAMENTOS T2 (555 ÁRVORES.ha ⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha ⁻¹) ATÉ OS DOIS ANOS DE IDADE | 96 |
| FIGURA 37 - FLUXO TOTAL DIÁRIO DE FÓTONS FOTOSSINTETICAMENTE ATIVOS INCIDENTE NAS COPAS DOS CAFEZEIROS NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES.ha ⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha ⁻¹), NO PERÍODO DE 10 DE MAIO A 4 DE AGOSTO DE 2003..... | 97 |
| FIGURA 38 - PERCENTAGEM DO FLUXO TOTAL DIÁRIO DE FÓTONS FOTOSSINTETICAMENTE ATIVOS INCIDENTE NAS COPAS DOS CAFEZEIROS NOS TRATAMENTOS T2 (555 ÁRVORES.ha ⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha ⁻¹), EM RELAÇÃO AO TRATAMENTO T1 (PLENO SOL), NO PERÍODO DE 10 DE MAIO A 4 DE AGOSTO DE 2003..... | 98 |
| FIGURA 39 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSIS NAS FOLHAS DOS CAFEZEIROS NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES.ha ⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha ⁻¹), NO PERÍODO DE JULHO DE 2002 A SETEMBRO DE 2003 | 99 |
| FIGURA 40 - TEMPERATURA DAS FOLHAS DO CAFEZEIRO NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL) E T2 (555 ÁRVORES.ha ⁻¹) AO LONGO DOS DIAS 1 E 2 DE SETEMBRO DE 2002 | 100 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 41 - TEMPERATURA DAS FOLHAS DO CAFEEIRO NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL) E T2 (555 ÁRVORES. ha ⁻¹) DURANTE AS HORAS MAIS FRIAS DO DIA 2 DE SETEMBRO DE 2002 | 101 |
| FIGURA 42 - TEMPERATURA DAS FOLHAS DO CAFEEIRO NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES. ha ⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES. ha ⁻¹) AO LONGO DOS DIAS 12 E 13 DE JULHO DE 2003..... | 102 |
| FIGURA 43 - TEMPERATURA DAS FOLHAS DO CAFEEIRO NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES. ha ⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES. ha ⁻¹) DURANTE AS HORAS MAIS FRIAS DO DIA 13 DE JULHO DE 2003 | 103 |
| FIGURA 44 - TEMPERATURA DAS FOLHAS DO CAFEEIRO NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES. ha ⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES. ha ⁻¹) AO LONGO DO DIA 6 DE SETEMBRO DE 2003..... | 104 |
| FIGURA 45 - TEMPERATURA DAS FOLHAS DO CAFEEIRO NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES. ha ⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES. ha ⁻¹) DURANTE AS HORAS MAIS QUENTES DO DIA 6 DE SETEMBRO DE 2003 | 104 |

RESUMO

A arborização de cafezais no Paraná tem como principal finalidade proteger os cafeeiros contra geadas de radiação. A seleção das espécies arbóreas e o seu manejo são fatores cruciais para a otimização desta prática agroflorestal visando a obtenção de níveis adequados de produtividade. O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da arborização de cafezais com diferentes espécies florestais na produtividade do cafeeiro e na proteção contra geadas de radiação. Para tanto, dois experimentos com delineamento de blocos casualizados foram conduzidos no município de Londrina, PR. No primeiro foram utilizadas parcelas com árvores isoladas para comparar o efeito das espécies *Casuarina equisetifolia*, *Grevillea robusta*, *Pinus oocarpa* e *Leucaena diversifolia* na produtividade dos cafeeiros. No segundo experimento comparou-se a arborização com bracatinga (*Mimosa scabrella*) em duas densidades com o monocultivo a pleno sol. Em ambos experimentos foram avaliadas as produtividades das safras de 2002 e 2003 de cafeeiros da cultivar IAPAR 59, recepados após a geada severíssima que ocorreu no inverno de 2000. Na safra de 2003 as árvores do primeiro experimento estavam com 6,5 anos de idade e as bracatingas, plantadas em outubro de 2001, com menos de 2 anos de idade. A temperatura das folhas dos cafeeiros e a porcentagem de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pela copa das árvores foram monitoradas em algumas parcelas. Os resultados do primeiro experimento revelaram diferenças significativas entre as espécies arbóreas quanto à sua compatibilidade com o cafeeiro, avaliada pela produtividade de café no biênio. As espécies apresentaram a seguinte ordem de compatibilidade: *G. robusta* > *C. equisetifolia* > *P. oocarpa* > *L. diversifolia*. Como não ocorreram geadas durante o período experimental, o efeito de proteção contra geadas de radiação foi avaliado pela diferença de temperatura, nas horas mais frias do dia, entre as folhas dos cafeeiros localizados sob a copa das árvores e as folhas dos situados a mais de 10m de distância das árvores. As temperaturas das folhas dos cafeeiros sob a copa das árvores foram de 1,4 a 3,0°C mais altas nas horas mais frias do dia, com o tratamento leucena apresentando a maior diferença e o tratamento grevilea a menor. Os tratamentos casuarina e pinus apresentaram diferenças semelhantes, em torno de 2,5°C. A redução do fluxo total diário de radiação fotossinteticamente ativa sob a copa das árvores, em dias ensolarados, foi maior sob a casuarina (90%) e menor sob a grevilea (74%), enquanto que sob o pinus e a leucena foram encontrados valores iguais (86%). A arborização com bracatinga, numa densidade de 555 plantas por hectare, permitiu alguma proteção contra geadas de radiação no primeiro ano de plantio, tendo sido registradas temperaturas foliares cerca de 0,5°C mais elevadas em relação ao tratamento a pleno sol. No segundo ano, as diferenças de temperatura das folhas de café entre o tratamento a pleno sol e os tratamentos arborizados foram de 2,3°C e 1,5°C para os tratamentos com densidades de 555 e 139 plantas de bracatinga por hectare, respectivamente. Considerando o total do biênio 2002-2003, a produção de café beneficiado foi inversamente proporcional à população das bracatingas, com diferenças significativas entre os tratamentos.

Palavras-chave: arborização, sombreamento, *Coffea arabica*.

ABSTRACT

The main purpose for integrating trees in the modern coffee production systems in Southern Brasil is frost protection. The choice of the tree species and adequate shade management are important factors for the optimization of these agroforestry systems and to achieve high coffee beans productivity. The objective of this study was to compare different tree species on coffee yields and frost protection. The two field trials analyzed in this study were located at the municipality of Londrina (23°S 51°W) in the State of Parana, Southern Brasil. In the first trial single tree plots and a transect sampling approach were used to compare the compatibility with coffee plants of four tree species, *Casuarina equisetifolia*, *Grevillea robusta*, *Pinus oocarpa* and *Leucaena diversifolia*. The other trial compared three treatments, two levels of shade with bracinga (*Mimosa scabrella*) trees and an unshaded control, arranged in a randomized blocks design. In both trials, the coffee beans productivity in the biennium 2002-2003 was evaluated. The coffee plants, cultivar IAPAR 59, were coppiced after the severe frost that occurred in the winter of 2000. At the time of the 2003 coffee harvest the trees in the first trial were 6,5 years old and the *M. scabrella* trees, planted in October 2001, were under two years old. The coffee leaves temperature and the percentage of photosynthetic active radiation (PAR) intercepted by the trees canopy were measured in some of the experimental plots. The results from the first trial detected statistical differences in coffee yields between tree species treatments. The tree-coffee compatibility were ranked as: *G. robusta* > *C. equisetifolia* > *P. oocarpa* > *L. diversifolia*. The frost protection effect was evaluated by the differences in minimum leaf temperature between coffee plants located under the shade trees canopy and plants at more than 10m from trees trunk that were considered as control, because no frost occurred during the experimental period. The leaf temperature of coffee bushes under the canopy of the trees were 1.4 to 3.0°C higher than the control at the cooler period of the day, with the greatest difference being recorded at the *L. diversifolia* plot and the least at the *G. robusta* plot. The treatments *C. equisetifolia* and *P. oocarpa* showed similar differences, approximately 2.5°C. The total PAR daily flux reduction under the canopy of the shade trees, in sunny days, was higher under *C. equisetifolia* (90%) and lower under the *G. robusta* treatment (74%). Under the *P. oocarpa* and *L. diversifolia* treatments the values were equal (86%). Coffee shading with *M. scabrella* trees with 555 trees per hectare provided some protection from radiative frosts during the first year after tree planting, as temperatures 0.5°C higher than the full sun control plot were recorded. In the second year, the differences in coffee leaves temperature between the full sun and shaded plots were 2.3°C and 1.5°C for the shade treatments with 555 and 139 trees per hectare, respectively. Analysing the yield for the biennium 2002-2003, the coffee production was inversely proportional to the *M. scabrella* trees density, with statistical significant differences between the three treatments.

Key-words: shading, shade trees, *Coffea arabica*

1 INTRODUÇÃO

As florestas montanas latifoliadas da Etiópia são consideradas o centro de origem e diversidade genética do cafeeiro arábica (*Coffea arabica* L.), arbusto de grande importância econômica.

Por ser uma planta que ocorre naturalmente no estrato inferior da floresta os primeiros plantios foram efetuadas sob a proteção de árvores. Entretanto, apesar de comum na maioria dos países produtores, a arborização dos cafezais, tipicamente uma prática agroflorestal, não foi adotada extensivamente no Brasil onde o café é cultivado predominantemente em monoculturas a pleno sol.

A arborização de cafezais apresenta vantagens e desvantagens e é assunto polêmico há mais de um século, havendo opiniões pró e contra na literatura científica.

A utilização de fertilizantes químicos, que se popularizou após a segunda Guerra Mundial, favoreceu a produção de café a pleno sol, permitindo altas produtividades nas terras já exauridas pelo cultivo do cafeeiro. Entretanto, a preocupação com as questões ambientais e a busca por sistemas de produção menos dependentes de insumos industriais, além do crescente movimento em prol da agricultura orgânica, são fatores que tem estimulado o estudo e desenvolvimento de sistemas agroflorestais com cafeeiros.

O sucesso da arborização depende em grande parte das características climáticas locais e do manejo da lavoura cafeeira. Portanto, as experiências de uma região, na maioria das vezes, não podem ser aplicadas exatamente da mesma forma em outras. A escolha das espécies arbóreas, assim como o seu manejo e a densidade são cruciais para a obtenção de níveis adequados de produtividade.

Duas situações são geralmente apontadas como favoráveis à arborização do cafezal: em locais muito quentes e em locais com ocorrência de geadas. Esta última condição é a que prevalece na região sul do Brasil, sendo as geadas a

principal limitação da cafeicultura paranaense. Alguns resultados experimentais a favor da arborização de cafezais foram registrados na região cafeeira paranaense no final do século XX, o que renovou o interesse por esse tipo de tecnologia.

Apesar desses resultados positivos, a grande diversidade de espécies florestais com possibilidades de utilização em sistemas agroflorestais na região cafeeira paranaense e as poucas experiências empíricas realizadas pelos agricultores, dificultam a recomendação desta prática. A seleção criteriosa das espécies arbóreas e das densidades de plantio adequadas às diversas condições edafo-climáticas são fatores decisivos para a otimização do sistema e, conseqüentemente, para o êxito na adoção da prática de arborização de cafezais pelos cafeicultores.

O objetivo geral deste estudo foi avaliar os efeitos de algumas espécies florestais na produtividade do cafeeiro e na proteção contra geadas de radiação.

Os objetivos específicos foram:

a) analisar a produtividade do cafeeiro sob as áreas de influência das copas de quatro espécies florestais.

b) verificar o efeito da arborização do cafezal com bracatinga, em duas densidades, na produtividade do café e na proteção contra geadas de radiação.

c) caracterizar a área de influência da copa das espécies arbóreas através de medições da temperatura das folhas e do fluxo de radiação fotossinteticamente ativa incidente nos cafeeiros.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O CAFEIEIRO ARÁBICA

O cafeeiro pertence ao gênero botânico *Coffea*, o mais importante do ponto de vista econômico da família *Rubiaceae*, que contém cerca de 500 gêneros e mais de 6000 espécies, a maioria árvores e arbustos encontrados no sub-bosque das florestas tropicais. A primeira denominação botânica do cafeeiro foi *Jasminum arabicum laurifolia*, incluído na família *Oleaceae* por Antoine de Jussieu em 1714. Linnaeus descreveu o gênero *Coffea* em 1737 e a espécie *Coffea arabica* em 1753, nome que perdura até hoje (WRIGLEY, 1988).

As florestas montanas latifoliadas das regiões de Jimma e Kaffa, na Etiópia, e no platô de Boma, no Sudão, são consideradas o centro de origem e diversidade genética da espécie *C. arabica* L. Estas regiões, situadas aproximadamente entre 6 e 9° de latitude Norte e 34 e 40° de longitude Leste, apesar de estarem na faixa equatorial, apresentam clima ameno em função da altitude (de 1600 a 2000 m) (CAMARGO; PEREIRA, 1994; WRIGLEY, 1988; CARVALHO, 1988; BERTHAUD; CHARRIER, 1988).

Com base nos poucos registros climáticos disponíveis SYLVAIN (1955) considera que o clima onde ocorrem as florestas com cafeeiros pode ser descrito como apresentando temperaturas médias em torno de 20°C com pouca variação entre as estações do ano, mas com grande variação mensal e diária. SWAIN¹, citado por SYLVAIN (1955), registrou temperaturas médias de 18°C no mês mais frio e de 21°C no mês mais quente. As precipitações são bem distribuídas, com no máximo 3 a 4 meses secos no inverno (precipitação média inferior a 50mm) e total anual em

¹ SWAIN, E.H.F. *The climatic regimes of Ethiopia-Eritrea*. FAO Division of Forestry. Relatório não publicado. Rome, 1951.

torno de 1600 a 2000m. A nebulosidade é relativamente alta, especialmente durante a estação chuvosa.

Das diversas espécies de *Coffea* descritas apenas duas possuem importância econômica, *C. arabica* L. (café arábica) e *C. canephora* Pierre (café robusta). Cerca de 70% do café comercializado no mundo é arábica, de melhor qualidade. No Brasil, a maior parte, cerca de 80%, do café plantado é arábica (BARROS et al., 1995; MATIELLO et al., 2002).

O comércio mundial de café movimentava anualmente cerca de US\$ 12.000.000.000,00. Ele é uma *commodity* importante para diversos países da América, África e Ásia, sendo o principal produto de exportação para muitos deles. O Brasil, principal produtor, responde por cerca de 30% do comércio internacional de café, que é um produto de grande importância social, pois mais de 20 milhões de pessoas estão envolvidas na cadeia produtiva do café (cultivo, processamento pós-colheita, transporte e comércio) (MAESTRI et al., 2001).

2.1.2 Aspectos Ecofisiológicos

O cafeeiro não tolera uma faixa muito ampla de temperaturas, mas é bastante tolerante com relação ao regime pluviométrico, tanto com relação à quantidade quanto à distribuição. O regime pluviométrico ideal para o cafeeiro fica em torno de 1200 a 1800mm, mas tem sido cultivado em regiões com médias anuais de pluviosidade desde 800mm até mais de 2000mm, podendo suportar períodos de deficiência hídrica de até 200mm em solos com boa capacidade de retenção de água (RENA; MAESTRI, 1987).

No mapeamento das aptidões climáticas para o cultivo do café arábica no Brasil, CAMARGO (1985) adota temperaturas médias anuais entre 18 e 22°C para regiões aptas ao cultivo e considera marginal a faixa de 22 a 23°C. Acima de 23°C e abaixo de 18°C são regiões consideradas inaptas. Para MATIELLO et al. (2002) as

regiões aptas estão entre 19 e 22°C.

Para CARVAJAL² a faixa de temperatura média anual mais adequada ao cultivo do cafeeiro arábica é de 17 a 23°C, enquanto que para WILLSON³ é de 15 a 24°C, ambos autores citados por MAESTRI et al. (2001). ALÈGRE⁴, citado por DAMATTA e RENA (2002) considera a faixa de temperatura de 18 a 21°C como mais adequada.

KUMAR e TIESZEN (1980) estudando o desempenho fotossintético do cafeeiro em várias temperaturas e intensidades luminosas encontraram valores para o ponto de saturação luminosa em folhas de sombra em torno de 300 $\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e nas folhas de sol em 600 $\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. O ponto de compensação para a luz foi estimado em 20 $\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ para plantas de sombra e 15 $\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ nas de sol. Nas plantas de sombra o aumento de temperatura das folhas em função do aumento da irradiância foi mais pronunciado, com a diferença chegando a 8°C quando submetidas a 1200 $\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Altas temperaturas causaram redução nas taxas fotossintéticas a altas irradiâncias e a temperatura ótima para fotossíntese ficou em torno de 26°C. Acima de 45°C a fotossíntese foi muito pouca tanto em folhas de sol como de sombra. Entretanto, quando a temperatura foi mantida a 25°C, a taxa de fotossíntese se manteve constante com aumento da irradiância até 1200 $\mu\text{E.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Portanto, apesar de altas irradiância e temperatura limitarem a fotossíntese por fechamento de estômatos, o cafeeiro se adapta bem ao cultivo a pleno sol. Os mesmos autores sugerem que o cafeeiro, devido ao seu baixo nível de saturação de luz, é adequado para plantios adensados uma vez que o sombreamento mútuo pode permitir um ambiente mais favorável pela redução da intensidade de luz incidente e temperatura das folhas.

² CARVAJAL, J.F. **Cafeto, Cultivo y Fertilizacion**. 2 ed. Berna: Inst. Internac. de la Potasa, 1984.

³ WILLSON, K.C. Climate and soil. In: Clifford, M.N.; Willson, K.C. (ed.). **Coffee: Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage**. London: Croom Helm, 1985. p. 97-107.

⁴ ALÈGRE, G. Climats et caféiers d'Arabie. **Agron. Trop.**, n. 14, p. 23-58, 1959.

A fotossíntese no cafeeiro é muito sensível a altas temperaturas, embora possa variar com a cultivar. Estima-se uma redução de 7% na produção de matéria seca para cada aumento de 1°C acima de 24°C, com interrupção do crescimento a temperaturas acima de 34°C (BIERHUIZEN et al.⁵, citado por ANDROCIOLO FILHO, 1987).

WENT⁶, citado por FRANCO (1970), demonstrou que em ambiente com altas temperaturas muitos botões florais não se transformam em flores normais, mas, ou caem ou produzem flores abortadas, conhecidas entre os cafeicultores por estrelinhas. MATIELLO et al. (2002) informam que acima de 23°C é possível a ocorrência desse fenômeno, mas que este só ocorre em condições de baixa umidade no solo no período de pré-florada, e parece ser dependente do material genético, pois as plantas de porte baixo são menos susceptíveis.

Para FRANCO (1970) as temperaturas diurna e noturna ótimas para o desenvolvimento das plantas de café são diferentes, tendo encontrado valores de 30 e 23°C para as temperaturas diurna e noturna ótimas em cafeeiros logo após a germinação. Esses valores diminuem à medida que a planta cresce, e para plantas com cerca de um ano e meio de idade as temperaturas diurna e noturna ótimas estão ao redor de 23 e 17°C, respectivamente.

NUNES et al.⁷, citados por FRANCO (1970), encontraram temperaturas diurna e noturna de 25 e 20°C, respectivamente, como as mais adequadas para cafeeiros com aproximadamente um ano de idade. Os autores apresentaram dados relacionando temperatura e fotossíntese em folhas de cafeeiros onde, para cada

⁵ BIERHUIZEN, J.F.; NUNES, M.A.; PLOEGMAN, C. Estudos sobre a produtividade do cafeeiro. 1. Efeito da luz, temperatura e concentração de CO₂ na fotossíntese de *Coffea arabica*. **Estudos Agrônomicos**, n. 11-12, p. 15-25, 1970/71.

⁶ WENT, F.W. **The experimental control of plant growth**. Mass.: Chron. Bot. Co., 343 p., 1957.

⁷ NUNES, M.A.; BIERHUIZEN, J.P.; PLOEGMAN, C. Studies on productivity of coffee. I- Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. **Acta. Bot. Neerl.** n. 17, v. 2, p. 93-102, 1968.

grau acima de 24°C, a fotossíntese diminui 10%. Acima de 34°C a fotossíntese líquida é insignificante (NUNES et al.⁸, citados por MAESTRI; BARROS, 1977).

DAMATTA (2004) acredita que a faixa de temperatura ótima para fotossíntese dos cafeeiros é mais ampla que as usualmente citadas na literatura científica e que taxas de fotossíntese relativamente altas podem ser mantidas com temperaturas acima de 30°C em cafeeiros aclimatados. Na sua revisão o autor informa que altos valores de assimilação de CO₂ foram encontrados em cafeeiros arábica com temperaturas foliares em torno de 34°C por CARELLI et al.⁹, citados por DAMATTA (2004).

CANNEL¹⁰, citado por ANDROCIOLI FILHO (1987), no Quênia, registrou que com temperatura do ar de 30°C as folhas dos cafeeiros a pleno sol chegaram a 40°C, uma diferença de 10 °C. ALVIM¹¹ (citado por ANDROCIOLI FILHO, 1987) encontrou temperaturas de 45°C nas folhas dos cafeeiros a pleno sol enquanto a temperatura do ar ambiente era de 25°C, ou seja, uma diferença de 20°C.

CAMARGO e SALATI (1966) determinaram a temperatura letal em folhas de cafeeiros em noites de geada com termômetros de mínima colocados ao lado das folhas destacadas e concluíram que temperaturas acima de -1,7 °C não causaram danos nas folhas do cafeeiro, sendo que estes apareceram quando a temperatura mínima atingiu -2 °C. Temperaturas de -2,9 °C provocaram danos leves, enquanto que abaixo de -3 °C foram graves e generalizados. A -4,5 °C os danos foram totais.

⁸ NUNES, M.A.; BIERHUIZEN, J.P.; PLOEGMAN, C. Studies on productivity of coffee. III- Differences in photosynthesis between four varieties of coffee. **Acta. Bot. Neerl.** n. 18, p. 420-424, 1969.

⁹ CARELLI, M.L.C., FAHL, J.I.; TRIVELIN, P.C.O.; QUEIROZ-VOLTAN, R.B. Carbon isotope discrimination and gas exchange in *Coffea* species grown under different irradiance regimes. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.11, p.63-68, 1999.

¹⁰ CANNEL, M.G.R. Seasonal patterns of growth and development of arabica coffee in Kenya. 3. Changes in the photosynthetic capacity of the trees. **Kenya Coffee**, n. 36, p. 68-74, 1971.

¹¹ ALVIM, P.T. Advances in coffee production technology, recent advances in our knowledge of coffee trees. 1. Physiology. **Coffee & Tea Industries and Flavor Field.** n. 81p. 17-25, 1958.

Os autores concluíram ainda que a insolação direta, pelo aparecimento do sol pela manhã após uma noite com geada, não piora nem atenua os efeitos das baixas temperaturas.

FERRAZ (1968) informou que a temperatura de congelamento das folhas dos cafeeiros fica entre $-3,4$ e $-3,5$ °C e a velocidade do descongelamento e os raios solares não influenciam os danos, uma vez que a morte das folhas do cafeeiro ocorre durante o congelamento.

A acumulação de ar frio rente à superfície do solo pode causar, no caule de cafeeiros novos, um estrangulamento devido à morte dos tecidos da casca. Conhecido como “canela de geada”, este estrangulamento foi reproduzido em laboratório com temperaturas abaixo de -2 °C. Plantas tratadas por duas horas com temperaturas de 0 a -2 °C não exibiram estrangulamento nem outro sintoma de anormalidade, enquanto que com temperaturas de -5 a -7 °C as plantas morreram em duas semanas. O estrangulamento geralmente se torna evidente apenas na primavera, apesar de acontecer no inverno (FRANCO, 1960, 1970).

Para FRANCO (1970) a queima dos ponteiros é um fenômeno relacionado ao aquecimento brusco das folhas e galhos do cafeeiro nos primeiros minutos após o nascer do sol. Durante noites frias, as folhas e galhos se resfriam a temperaturas próximas do congelamento e, com o nascer do sol, rapidamente as folhas se aquecem e passam a apresentar condições para transpiração elevada. Entretanto, as camadas superficiais do solo se encontram frias, dificultando a absorção de água. Além disso, a translocação de água nos vasos que também se acham a baixas temperaturas é dificultada pela maior viscosidade da água e menor permeabilidade dos tecidos.

Para RENA (2000) a formação do gelo e a contração do protoplasma são as causas dos danos irreversíveis às membranas e outros componentes subcelulares, que impedem o restabelecimento normal do metabolismo celular. Portanto, o que causa a morte do tecido não é o descongelamento, mas a forte

desidratação celular associada à formação de cristais de gelo intercelular.

LEUNING e CREMER (1988) demonstraram que a temperatura de folhas isoladas expostas a noite, com solo e céu limpo, é dependente do tamanho da folha e orientação, da temperatura do ar no seu entorno e da temperatura do solo.

Em um cafezal a pleno sol a temperatura do ar está diretamente relacionada com a altura durante a noite e inversamente durante o dia. Em Botucatu (22° 57' S) as temperaturas mínimas foram registradas entre 5:00 e 6:00 h, enquanto as máximas ocorreram entre 14:00 e 15:00 h. Os gradientes foram invertidos entre 8:00 e 10:00 pela manhã e entre 16:00 e 18:00 h pela tarde. O gradiente no perfil invertido foi em média $0,2^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$ (TUBELIS et al.¹², citados por MAESTRI et al. 2001).

GOMEZ e ROBLEDO (1974) mediram a temperatura de folhas de café com termopares em cafezal a pleno sol e registraram que, em relação à temperatura do ar, a temperatura das folhas foi superior durante o dia e inferior durante a noite. A temperatura das folhas auto-sombreadas foi similar à do ar até as 14:00 e após este horário chegaram a $1,2^{\circ}\text{C}$ abaixo da temperatura do ar. A temperatura média das folhas chegou a um máximo de $31,5^{\circ}\text{C}$ enquanto a do ar ficou em $28,5^{\circ}\text{C}$. Em alguns casos a temperatura das folhas chegou a $10,2^{\circ}\text{C}$ acima da do ar. A diferença entre uma folha auto-sombreada e uma exposta alcançou 10°C . Os autores concluíram que as folhas auto-sombreadas se comportam de forma similar ao ar. Em dias com boa insolação as temperaturas das folhas foram, em relação à temperatura do ar, 3 a 5°C superiores durante o dia e 1 a 2°C inferiores durante a noite.

Em Veracruz no México BARRADAS e FANJUL (1986) compararam o microclima em cafezais a sol aberto e sombreados com *Inga jinicuil* numa densidade de 205 árvores por ha. As temperaturas médias máximas e mínimas no plantio a

¹² TUBELIS, A.; FOLONI, L.L.; NASCIMENTO, F.J.L.; VILLA-NOVA, N.A. Temperatura do ar em cafezal. **Turrialba**, n. 30, p. 9-15, 1980

pleno sol foram respectivamente cerca de 5,5°C maior e 1,5°C menor que no cafezal sombreado. A amplitude das diferenças entre máxima e mínima foram muito maiores no sítio a pleno sol.

FRANCO¹³ (citado por FRANCO, 1970) estudou lesões no colo das plantas causadas por altas temperaturas e demonstrou em laboratório que os tecidos do caule de cafeeiros são danificados por temperaturas entre 44 e 50 °C. Temperaturas abaixo de 40 °C não causaram danos e temperaturas de 50°C e acima causaram a morte das plantas.

NUNES¹⁴ (citado por ANDROCIOLI FILHO, 1987) observou diferenças nas taxas de transpiração entre plantas da cultivar Caturra, que exibiram valores de 6 g (H₂O).dm⁻².dia⁻², e outras cultivares e espécies, nos quais verificou taxas de 2,8 a 4,2 g.dm⁻².dia⁻².

A diminuição da água no solo induz as plantas a fecharem os estômatos, fazendo com que o calor que normalmente seria perdido por transpiração seja convertido em calor absorvido pelas folhas, aumentando assim a temperatura das folhas. OROZCO e JARAMILLO (1978) informaram que, em condições de déficit hídrico, a temperatura foliar de plantas de Caturra chegou a 8,9°C acima da temperatura do ar, enquanto nas folhas de Catuaí a diferença não passou de 3,8°C.

Segundo FANJUL et al. (1985) a forte resposta dos estômatos dos cafeeiros à umidade do ambiente pode prevenir o estresse por deficiência hídrica em condições de alta demanda evaporativa e maximizar o ganho de carbono com baixa umidade no ambiente. Esses autores demonstraram que plantas à sombra apresentam maior abertura estomática do que plantas a pleno sol e concluíram que o principal fator de controle dos estômatos é a umidade relativa do ar.

¹³ FRANCO, C.M. Lesão do colo do cafeeiro, causada pelo calor. **Bragantia**, Campinas, n. 20, v. 24, p. 645-652. 1961.

¹⁴ NUNES, M.A. Resistencia a secura en *Coffea arabica* L. 3. Estudio comparativo das seleções S. 797, Geisha, S4 Agaro e Caturra. **Portugaliae Acta Biologica** (Serie A), n. 13, v.1-2, p. 143-156, 1974.

O aumento da densidade de plantio causa um decréscimo no fluxo de energia radiante no interior da copa, resultando em um deslocamento da produção para a parte superior da copa. O sombreamento pode afetar o número de frutos por nó e o número de nós com frutos. Isso pode estar relacionado com o papel da luz em determinar o número de nós com flores por planta e de botões florais por nó (CASTILLO; LOPEZ¹⁵, citados por BARROS et al., 1999). O número de nós formados é considerado o principal componente de produção do cafeeiro em espaçamentos largos (CANNELL, 1975).

O cafeeiro arábica, diferentemente da maioria das plantas cultivadas, leva dois anos para completar seu ciclo fenológico, o que explica seu ciclo bienal de produção. CAMARGO e CAMARGO (2001) propõem um modelo com seis fases para definir e esquematizar os estádios fenológicos do cafeeiro arábica nas condições brasileiras (fig. 1).

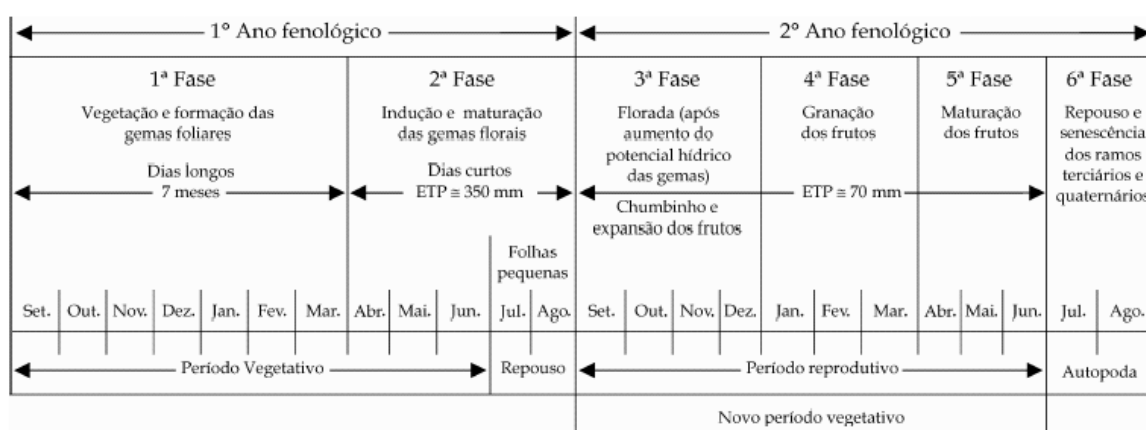
A fase inicial, que é de vegetação e formação de gemas foliares, vai de setembro a março, em dias longos com fotoperíodo acima de 12 horas de brilho solar. A segunda fase, de indução e maturação das gemas florais, ocorre de abril a agosto, quando as gemas maduras entram em dormência e ficam prontas para se transformar em botões florais e florescer após um choque hídrico. Nesta segunda fase ocorre a indução das gemas foliares, formadas na primeira fase, para gemas florais. Ao final desta fase, em julho-agosto, os cafeeiros emitem um ou dois pares de folhas pequenas e entram em relativo repouso, delimitando o final do primeiro ano fenológico (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

A terceira fase é a de florada e expansão dos frutos, que ocorre no período de setembro a dezembro. A florada ocorre após um choque hídrico, que aumenta o potencial hídrico nas gemas florais maduras. A quarta fase é a de granação dos

¹⁵ CASTILLO-Z., J.; LOPEZ-A., R. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del café. *Cenicafé*, n. 7, p. 51-60, 1966,

frutos e vai de janeiro a março, quando o estresse hídrico pode prejudicar o enchimento dos grãos. A quinta fase ocorre de abril a junho e compreende o período de maturação dos frutos. Nesta época, deficiências hídricas moderadas beneficiam a qualidade do café. Em julho-agosto acontece a senescência, quando alguns ramos produtivos secam e morrem, é a sexta fase, a da auto-poda dos cafeeiros (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

FIGURA 1 - ESQUEMA DAS FASES FENOLÓGICAS DO CAFEIEIRO ARÁBICA NAS CONDIÇÕES BRASILEIRAS



FONTE: CAMARGO e CAMARGO (2001)

2.2 ARBORIZAÇÃO DE CAFEIROS COMO SISTEMA AGROFLORESTAL

Sistemas agroflorestais e agrossilvicultura são termos que se tornaram populares a partir do final da década de 70. Talvez a primeira definição moderna de agrossilvicultura seja a apresentada por BENE; BEALL e CÔTE (1978): “Entende-se por agrossilvicultura um sistema racional de uso do solo que, visando o aumento da produção total, combina simultaneamente ou em sucessão, culturas agrícolas, florestais e criações, utilizando técnicas compatíveis com a cultura e tradições locais.”

SOMARRIBA (1992) discutindo as diversas definições encontradas na

literatura, conclui que agrossilvicultura é uma forma de cultivo múltiplo que satisfaz três condições básicas: 1) a existência de interações biológicas entre pelo menos duas espécies de plantas, 2) que pelo menos uma das espécies seja uma perene lenhosa e 3) ao menos uma das plantas seja manejada para forragem ou alimento.

Dentre as definições de agrossilvicultura algumas são normativas, ou seja, dizem quais devem ser os atributos característicos de um sistema agroflorestal (SAF).

Teoricamente um SAF deve ser produtivo, sustentável e adotável. A produtividade pode ser incrementada de diversas maneiras, entre elas pode-se citar o aumento da produção do sistema devido aos produtos das árvores, aumento da produtividade das culturas associadas, redução no uso de insumos, aumento na eficiência do trabalho etc. A sustentabilidade em um SAF é devida principalmente ao efeito benéfico das árvores no solo. A adotabilidade significa que as tecnologias agroflorestais devem ser adequadas para os padrões sócio-culturais da população local (NAIR, 1993).

A arborização de cafezais é um típico exemplo de prática agroflorestal (MONTAGNINI, 1992), pois envolve a associação deliberada de uma cultura agrícola com árvores conforme conceito evidenciado em NAIR (1989).

Arborização e sombreamento são termos geralmente utilizados como equivalentes. Alguns autores definem sombreamento como a prática de plantar árvores entre os cafeeiros, numa determinada proporção, com a finalidade de evitar o excesso de insolação (LAZZARINI, 1962). Outros consideram que o termo arborização deve ser utilizado para indicar um sombreamento mais ralo, que permita aos cafeeiros receberem uma quantidade suficiente de radiação solar que não reduza a produtividade e ao mesmo tempo propicie condições microclimáticas mais favoráveis que a pleno sol (CAMARGO et al., 1985; MIGUEL et al., 1995; MALAVOLTA, 2000).

Embora seja convencional e conveniente discutir a influência dos diversos

fatores do meio de maneira isolada, deve-se ter em mente que estes atuam de maneira conjunta e seu efeito é interdependente, ou seja, a alteração de um fator do ambiente pode trazer mudanças nas necessidades das plantas em relação a outro fator (SPURR; BARNES, 1980).

Muito do entusiasmo com a agrossilvicultura veio da suposição de que quando culturas agrícolas e árvores são cultivadas juntas, irão estabelecer uma relação de complementaridade ao invés de competir pelos recursos do meio. Entretanto, quando plantas crescem próximas podem interagir de maneira positiva (complementaridade) ou negativa (competição). A questão biofísica básica na agrossilvicultura, segundo SANCHEZ (1995), é como manejar as interações de luz, água e nutrientes de maneira a favorecer a complementaridade entre os componentes ao invés da competição pelos recursos do meio.

O efeito das interações entre os componentes de um SAF é geralmente determinado pela influência do componente arbóreo nos demais componentes do sistema, sendo expresso em termos de respostas quantificáveis tais como mudanças na fertilidade do solo, modificações microclimáticas, disponibilidade de recursos (água, nutrientes e luz), incidência de pragas e doenças e efeitos alelopáticos (RAO et al., 1998).

BUCK (1986) inclui nos processos de interação, além da complementaridade e competição, o aspecto diferencial, ou seja, quando o acesso aos recursos do meio é separado pelo espaço ou pelo tempo, como por exemplo raízes com profundidades efetivas diferentes ou árvores decíduas no dossel. Uma abordagem básica na avaliação das interações é observar a maneira que as plantas utilizam os recursos (luz, água e nutrientes) nas dimensões horizontal, vertical e temporal. Na dimensão horizontal a divisão dos recursos do meio pode ser alterada pela manipulação da distribuição espacial e da proporção entre os diferentes cultivos. A maximização da interface entre os componentes do sistema é conseguida com um arranjo hexagonal, enquanto que a minimização dessa interface ocorre com

a separação das culturas em faixas ou blocos. Na dimensão vertical a luz é o recurso mais limitante. Num sistema como o de cafeeiros arborizados, a minimização do sombreamento pode ser conseguida através de podas ou com o uso de árvores decíduas.

O efeito das árvores num sistema agroflorestal com cafeeiros arborizados pode ser regulado através de três maneiras: pelo espaçamento das árvores e sua distribuição espacial, pela poda e pela seleção das espécies a serem utilizadas. O espaçamento pode determinar maior ou menor grau de interação entre o componente arbóreo e o cafeeiro, pois um plantio mais denso promove uma maior intensidade nas interações entre os componentes do sistema. A densidade de plantio só é alterada por morte das árvores ou pela realização de desbastes, sendo considerada um fator de longo prazo, ao contrário da poda, que pode ser realizada em praticamente qualquer época e é considerada uma operação de curto prazo. A frequência e a intensidade da poda permitem um ajuste fino nas modificações microclimáticas e, indiretamente, nas interações no solo por induzir a morte de raízes e simbioses (NYGREN¹⁶, citado por MUSCHLER, 1998).

Quando o objetivo principal da arborização é a proteção contra geadas a seleção das espécies é particularmente importante. A maior proteção se obtém maximizando a área de interface entre as árvores e os cafeeiros, mas, desse modo, a competição também fica incrementada, contribuindo para reduzir a produtividade.

Minimizar a competição é o objetivo mais importante em SAF's simultâneos como os de cafezais arborizados, e a maneira mais simples é escolhendo árvores que exerçam um menor grau de competição com a cultura associada (SANCHEZ, 1995).

A competição interespecífica, ou entre as diferentes espécies num SAF,

¹⁶ NYGREN, P. **Carbon and Nitrogen Dynamics in *Erythrina poeppigiana* Trees managed by periodic Prunings**. Helsinki, 1995. Tese (doutorado) – University of Helsinki.

pode ser dividida, de acordo com SCHROTH (1995), na que ocorre acima do solo ("above-ground") e no interior do solo ("below-ground").

Acima do solo a principal concorrência é em relação à disponibilidade de luz, especialmente na faixa espectral de radiação fotossinteticamente ativa (RFA). As plantas respondem à quantidade e qualidade da luz disponível. O número de quanta no espectro visível é a energia disponível para fotossíntese. No interior do dossel a intensidade da luz diminui e a razão entre luz difusa e direta aumenta. A composição espectral se modifica, ficando relativamente mais rica em verde e em infravermelho próximo ("near infrared"). A intensidade de luz necessária para saturar uma planta é sempre maior do que a necessária para saturar uma folha individualmente (WILLEY, 1975; CONNOR, 1983).

As plantas, dentro de certos limites, têm capacidade de se adaptar às flutuações na intensidade de radiação solar a que estão submetidas. A adaptação pode ser modulativa, modificativa ou evolutiva. Esta última reflete uma diferenciação ecológica, fruto da seleção natural e da capacidade de adaptação e diz respeito às respostas geneticamente determinadas. As adaptações modulativas ocorrem de forma rápida e são reversíveis. O movimento das folhas em resposta à variação na radiação solar incidente é um exemplo deste tipo de adaptação. As adaptações modificativas estão relacionadas às condições médias de radiação durante o processo de morfogênese, sendo geralmente irreversíveis. Folhas que se desenvolvem sob forte radiação desenvolvem várias camadas de células no mesófilo, são mais ricas em cloroplastos e apresentam venação mais densa (LARCHER, 2000).

MORAIS (2003) comparou folhas de cafeeiros a pleno sol e sombreados. Nas folhas submetidas à radiação mais intensa verificou-se um espessamento das cutículas e paredes celulares, parênquima paliçádico com células mais alongadas e maior número de estômatos. As folhas dos cafeeiros sombreados apresentaram folhas maiores e com menor venação. VOLTAN et al. (1992) relataram área foliar

individual maior em diversas cultivares submetidas a 50% de intensidade luminosa.

Entretanto, a posição da folha na copa do cafeeiro influi nas suas características de desenvolvimento. MORAIS et al. (2003) relataram que folhas localizadas na parte superior da copa e na face norte em cafeeiros sombreados com guandu (*Cajanus cajan*), tenderam a ser morfológicamente similares às que se desenvolveram a pleno sol.

O cafeeiro apresenta grande capacidade de adaptação na transição da sombra para o sol, mas mudas produzidas em viveiro sofrem estresse quando são transferidas para o campo e recebem radiação elevada. Mesmo adequadamente irrigadas podem morrer em consequência da fotoinibição.

NUNES et al. (1993) demonstraram efeito da disponibilidade de N na redução da fotoinibição causada pela súbita exposição de mudas de *C. arabica* produzidas em viveiro sob baixos níveis de radiação solar à radiação solar intensa. Quando expostas a pleno sol, as mudas apresentaram danos visíveis (desfolhamento) após apenas dois dias. Esses danos foram consideravelmente menores nas plantas tratadas com doses suplementares de N.

FAHL e CARELLI (2000) relataram que em mudas de cafeeiros transferidas do viveiro para condições de sol e de sombra de 50%, não se encontraram diferenças no desenvolvimento e na taxa de fotossíntese, mas com 70% de sombreamento houve redução da fotossíntese. A ausência de diferenças entre os tratamentos pleno sol e 50% de sombra foi atribuída ao fato dos valores de irradiância no tratamento com 50% de sombra não terem sido limitantes, pois os valores médios de densidade fotossintética de fluxo de fótons (DPFF) nos tratamentos foram de $1500 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (pleno sol), $650 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (50% da luz solar) e $290 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (30% da luz solar), enquanto os valores teóricos de saturação para folhas de café desenvolvidas à sombra ficam em cerca de $300 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e para folhas desenvolvidas a pleno sol em $600 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ (KUMAR; TIESEN, 1980).

No solo, as interações entre as plantas são mais difíceis de ser estudadas e portanto menos informações estão disponíveis. Entretanto, entre os diversos benefícios esperados da presença das raízes de árvores nos SAF's, SCHROTH (1995), cita os seguintes:

- a) Enriquecimento do solo com matéria orgânica, manutenção da biomassa do solo e incremento da ciclagem de nutrientes através dos processos de produção e decomposição de raízes;
- b) Absorção mais eficiente de água e nutrientes do solo reduzindo as perdas por lixiviação;
- c) Absorção dos nutrientes nos horizontes abaixo da zona de concentração das raízes das culturas agrícolas;
- d) Melhora da penetrabilidade do solo para as raízes das culturas agrícolas e de outras propriedades físicas do solo;
- e) Fixação de N atmosférico pela presença de microrganismos fixadores nas raízes das árvores.

As raízes das árvores contribuem para a manutenção e regeneração da fertilidade do solo, mas também competem pelos recursos do meio. As diversas espécies e mesmo as diferentes procedências podem diferir de maneira marcante nas características do sistema radicular no que diz respeito à competitividade e aos seus efeitos no solo. Portanto, as características do sistema radicial devem ser um dos critérios principais na escolha das árvores a serem utilizadas num SAF. Entretanto, a disponibilidade de informação científica para a aplicação deste critério nos diversos sistemas e situações edafo-climáticas ainda é insuficiente (SCHROTH, 1995).

SMITH et al. (1999) baseados em estudo sobre distribuição de raízes de grevilea (*Grevillea robusta*) num sistema agroflorestal com milho (*Zea mays*) concluíram que não é razoável esperar complementaridade entre as raízes de árvores e culturas agrícolas apenas porque o sistema radicial das árvores alcança

maior profundidade. Aparentemente, a distribuição dos sistemas radiciais da maioria das árvores e culturas anuais são coincidentes, com maior concentração nas camadas mais superficiais. Portanto, na seleção de árvores para sistemas agroflorestais, onde a competição por água é o aspecto principal, a quantidade de água requerida pelas diferentes espécies ou procedências deve ser um critério mais importante que as diferenças na distribuição do sistema radicial.

Resultados conflitantes podem ser encontrados na literatura com relação à economia hídrica do sistema cafezal arborizado.

JARAMILLO e CHAVEZ (1999) registraram que um cafezal sombreado com *Inga* sp. não apresentou deficiência d'água no solo durante períodos críticos nas duas profundidades amostradas (20 e 40 cm) enquanto no cafezal a pleno sol ocorreram deficiências severas.

Em São Paulo, Brasil, FRANCO (1947, 1952, 1970) observou que a transpiração do café mais as árvores excedia a disponibilidade hídrica do solo nas épocas de seca. O autor afirmou que em um cafezal sombreado os cafeeiros retiram menos água do solo devido à menor transpiração em ambiente sombreado, mas, por outro lado, as árvores consomem bastante água. Ele acredita que as condições de umidade e o regime de chuvas podem explicar o sucesso do sombreamento em determinados locais.

FRANCO (1952, 1970), levantou o percentual de água disponível no solo em cafezais sombreados e a pleno sol em diversos locais, encontrando maiores valores ora em um tipo de plantio ora em outro, mas sempre que havia pouca água disponível no solo o cafezal estava com aspecto ruim; e sempre que os cafeeiros encontravam-se enfolhados constatava-se a existência de água disponível no solo. Concluiu o autor que a falta de água disponível no solo nas épocas secas, causada pela concorrência das árvores de sombra, é o fator responsável pelo insucesso no sombreamento de cafezais nas condições paulistas. Na sua avaliação o autor considerou apenas o aspecto vegetativo dos cafeeiros, afirmando que em igualdade

de condições um cafezal sombreado produz menos. Entretanto, em alguns casos encontrou cafezais sombreados com maior quantidade de água disponível no solo e com aspecto vegetativo melhor que os a pleno sol. O mesmo autor conclui que em solos argilosos, com melhor retenção de água, o cafeeiro vegeta bem sob sombra e que para saber se a arborização do cafezal será vantajosa é preciso ponderar se o decréscimo de produção será compensado pelas vantagens oferecidas pelo sombreamento.

A maior umidade no solo encontrada na superfície, mas não em profundidade, observada em alguns casos, pode ser explicada pelo fato da superfície do solo perder menos água por evaporação do que um solo descoberto, porque o sol não incide diretamente e porque está coberto com uma manta de matéria orgânica que dificulta a evaporação da água. Nas camadas mais profundas o solo perde mais água pela absorção e transpiração das plantas do que por evaporação direta (FRANCO, 1947).

BIERHUIZEN et al.¹⁷ (citados por ANDROCIOI FILHO, 1987) observaram que o aumento de temperatura do ar e/ou da radiação solar causa aumento na transpiração do cafeeiro. Eles registraram que, com temperaturas de 32°C durante o dia, as plantas submetidas a alta radiação transpiraram cerca de $10\text{g}(\text{H}_2\text{O}).\text{dm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ enquanto plantas mantidas sob baixa radiação transpiraram cerca de $6,8\text{g}(\text{H}_2\text{O}).\text{dm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. Com temperatura diurna de 20°C, as plantas sob alta radiação solar transpiraram $6\text{g}(\text{H}_2\text{O}).\text{dm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ e as sob baixa radiação apenas $3\text{g}(\text{H}_2\text{O}).\text{dm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$.

Segundo FANJUL et al. (1985) a forte resposta dos estômatos dos cafeeiros à umidade do ambiente pode prevenir o estresse por deficiência hídrica em condições de alta demanda evaporativa e maximizar o ganho de carbono com baixa

¹⁷ BIERHUIZEN, J.F; NUNES, M.A.; PLOEGMAN, C. Estudos sobre a produtividade do cafeeiro. 2. Influência da umidade do solo na fotossíntese e transpiração de *Coffea arabica*. **Estudos Agronômicos**, n. 11-12, p. 27-35, 1970/71.

umidade no ambiente. Esses autores demonstraram que plantas à sombra apresentam maior abertura estomática que plantas a pleno sol e concluíram que o principal fator de controle dos estômatos é a umidade relativa do ar.

Tem sido demonstrado que espécies arbóreas fixadoras de N aumentam os teores de N no solo e a produtividade das culturas associadas, especialmente em sítios com deficiência de N e sob condições de baixa fertilização nitrogenada. Em locais com boa disponibilidade de água e nutrientes as espécies fixadoras de N podem ser substituídas, totalmente ou em parte, por espécies mais adequadas para produção de madeira. Esta substituição pode requerer fertilização adicional e delineamentos especiais para reduzir a competição, especialmente em anos secos. A poda dos ramos das árvores reduz a sua transpiração e conseqüentemente a competição por água com a cultura associada (SCHROTH et al., 2001).

2.2.1 Vantagens e Desvantagens da Arborização em Cafezais

Um dos registros mais antigos sobre os efeitos da arborização em cafezais foi publicado no século XIX por LOCK¹⁸ (citado por BEER et al., 1998). A redução da produtividade do cafezal pelo sombreamento foi apontada como principal desvantagem da arborização por esse autor, que afirmou que a arborização não é benéfica em todas as situações, é função do clima, sendo especialmente importante em climas quentes e secos. Como pontos positivos da arborização apontou a redução do esgotamento do cafeeiro e aumento da longevidade das plantas de café; manutenção e/ou melhoria da fertilidade do solo; aumento da serapilheira (e conseqüentemente da disponibilidade de nutrientes) e valor da madeira das árvores.

Segundo LAZZARINI (1962) as principais vantagens da arborização podem ser resumidas em: a) Combate à erosão; b) Produção de matéria orgânica; c)

¹⁸ LOCK, C.G.W. **Coffee**: Its culture and Commerce in All Countries. London: E & FN Spon, 1888.

Proteção contra geadas, ventos e granizos; d) Maior uniformidade de maturação dos frutos; e) Maior duração dos frutos no estado de cereja; f) Menor queda de frutos ao chão; g) Diminuição das ervas daninhas e facilidade de capinas. Como desvantagens ele cita principalmente a redução da produção, causada pela concorrência por água com as árvores de sombra. Outro sério problema é o aumento da incidência de broca. O autor conclui que se a arborização for bem conduzida o prejuízo à produção se reduz muito, e que para alcançar êxito a arborização deve ser feita com árvores espaçadas, severamente podadas no início das secas ou, em regiões com risco de geadas, logo que passe o perigo.

PURSEGLOVE¹⁹ (citado por BEER, 1987) resume assim o efeito do sombreamento: “o sombreamento reduz a fotossíntese, a transpiração, o metabolismo e o crescimento, e portanto a demanda por nutrientes no solo, permitindo colheitas em solos de baixa fertilidade.”

Os principais benefícios da arborização para o cafeeiro podem ser resumidos em duas categorias, segundo BEER et al. (1998). Em primeiro lugar está a melhoria das condições climáticas e edáficas (redução dos extremos de temperatura do ar e do solo, da velocidade dos ventos e melhoria na fertilidade do solo) e em segundo lugar a redução da quantidade e qualidade da luz transmitida, o que evita a superprodução e conseqüentemente o depauperamento (“die-back”) do cafeeiro. A principal desvantagem fisiológica é a competição entre a cultura e as árvores, especialmente se o sombreamento for excessivo.

DAMATTA e RENA (2002) abordam as principais vantagens da arborização em diversos aspectos. No aspecto climático informam que a redução dos extremos de temperatura do ar e do solo, a redução da velocidade dos ventos, a manutenção da umidade relativa do ar e o tamponamento da disponibilidade hídrica do solo, contribuem para proteger os cafezais das geadas e mantém um ambiente

¹⁹ PURSEGLOVE, J.W. **Tropical Crops: Dicotyledons**. Harlow: Longman, 1968. 719 p.

mais propício à manutenção das trocas gasosas. Com relação aos aspectos edáficos salientam que o aumento da serapilheira e da capacidade de reciclagem de nutrientes auxiliam na manutenção ou melhoria da fertilidade. A maior capacidade de infiltração e absorção de água tem reflexos positivos no controle da erosão. Eles citam CARVAJAL²⁰ para argumentar que a resposta à adubação é menor que nos cafezais a pleno sol, o que permite a redução no uso de fertilizantes. Como aspectos endógenos são citados a atenuação do ciclo bienal de produção e a redução da superprodução e do depauperamento ("die-back"), com conseqüente aumento da vida útil da lavoura. Eles não acreditam na melhoria da bebida devido ao sombreamento, mas citam CAMARGO²¹ que aponta um alongamento no período de maturação dos frutos. No aspecto biótico listam a redução da incidência de cercospora (*Cercospora coffeicola*), bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella*) e ervas daninhas. Os autores finalizam com aspectos econômicos favoráveis da presença de árvores que são as produções madeireira e não madeireira (látex, palmito etc.).

MUSCHLER (2000) argumenta que devido à redução da temperatura média o sombreamento permite um enchimento dos grãos mais lento e balanceado, produzindo um produto de melhor qualidade. Ele registrou uma substancial melhora na qualidade do café pelo sombreamento num estudo na Costa Rica a 700 m de altitude. Os benefícios do sombreamento foram: maior peso dos frutos, grãos maiores, melhor aparência dos grãos beneficiados e torrados, melhores notas para acidez (apenas em uma das variedades, a catimor, o que sugere a existência de diferenças entre variedades na adaptação à sombra) e corpo e ausência de aromas estranhos ("off-flavors"). Concluiu o autor que a sombra de pouca intensidade produziu grãos maiores com melhores atributos organolépticos e níveis de produção

²⁰ CARVAJAL, J.F. **Cafeto: cultivo y fertilización**. Berna: Instituto Internacional de la Potassa, 1984. 254 p.

²¹ CAMARGO, A.P. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, v. 11, p. 13-26, 1985.

equivalentes a pleno sol, mas sugere a validação deste resultado em outras condições ecológicas.

DAMATTA e RENA (2002), citando MITCHELL²², consideram que as desvantagens da arborização estão relacionadas ao uso de espécies inadequadas (que competem muito com o cafeeiro), ao sombreamento excessivo e às dificuldades nas operações de colheita. Em relação à competição propriamente dita eles consideram que em locais com seca prolongada, com solos rasos ou quando se usam espécies com sistema radicular muito superficial, a competição pode ser severa. A maior incidência de broca (*Hypothenemus hampei*) e de ferrugem (*Hemileia vastatrix*) são outras desvantagens importantes. Dependendo da espécie arbórea utilizada podem ser necessários podas ou desbastes para regular o sombreamento, o que aumenta os custos, além disso, os ramos caídos podem causar danos mecânicos nos cafeeiros. Finalizam os autores, citando CARVAJAL²³, que devido ao sombreamento o potencial de produção é limitado, bem como a resposta aos fertilizantes nitrogenados, e que em época de preços altos isso pode ter um impacto negativo considerável nos ganhos do produtor.

ROMERO-ALVARADO et al. (2002) compararam dois sistemas de sombreamento de café no México, um singelo, com uma só espécie de sombra (*Inga latibracteata*) e o outro misto, onde predomina vegetação natural com várias (26) espécies de sombra. No sistema dominado por *I. latibracteata* a densidade média foi de 281 árvores por ha, com luz direta na faixa de 14,2 a 28,2 mol.m⁻².dia⁻¹ e a luz difusa variando de 3,2 a 4,6 mol.m⁻².dia⁻¹. No sistema com diversas espécies sombreadoras a densidade média era de 457 árvores por ha (com 200 plantas de banana e laranja por ha), com luz direta na faixa de 15,6 a 28,2 mol.m⁻².dia⁻¹ e luz

²² MITCHELL, H.W. Cultivation and harvesting of the Arabica coffee. In: CLARKE, R.J; MACRAE, R. (Eds.). *Coffee*. Vol 4, Agronomy. London and New York: Elsevier, 1988. p.43-90.

²³ CARVAJAL, J.F. *Cafeto: cultivo y fertilización*. Berna: Instituto Internacional de la Potassa, 1984. 254 p.

difusa variando de 3,0 a 4,6 mol.m⁻².dia⁻¹. Não foi encontrada diferença significativa na produtividade do café entre os dois sistemas, provavelmente devido às pequenas diferenças entre os dois sistemas na porcentagem de cobertura e na quantidade de luz. Entretanto, os autores argumentam que o sistema com diversas espécies oferece vantagem por ser um refúgio de biodiversidade, particularmente para pássaros. A alta diversidade e a maior densidade de árvores de sombra podem ser capitalizadas no mercado de serviços ecológicos ou ambientais como café amigo da biodiversidade ("biodiversity-friendly coffee").

O efeito da arborização na produção do cafeeiro tem gerado muita discussão, podendo ser encontrados na literatura exemplos de aumento e redução da produtividade em função da arborização. Entre as razões para esta polêmica estão a diversidade de sistemas de produção de café e de condições edafo-climáticas e sócio-econômicas encontradas nas regiões produtoras. Diferenças em relação ao nível de capitalização e condição sócio-econômica dos produtores, rendimentos físico e financeiro das lavouras, uso de insumos industriais, tecnologia de manejo da lavoura e características do solo dificultam a análise das vantagens e desvantagens do cultivo arborizado em comparação com a monocultura a pleno sol.

Uma hipótese para explicar os efeitos conflitantes da sombra nos diversos ambientes foi proposta por MUSCHLER (1998). A separação dos ambientes em "ótimos" e "sub-ótimos" em relação às condições edáficas e de altitude (e conseqüentemente de temperatura) para o cafeeiro, permitiria estimar o montante da contribuição da arborização para aquele sítio específico. Esta contribuição seria maior em ambientes sub-ótimos e pequena, ausente ou mesmo negativa em ambientes mais próximos de um "ótimo" teórico para o cafeeiro em relação às características dos solos e à altitude.

De acordo com a hipótese de MUSCHLER (1998), sob condições marginais o sombreamento aliviaria o estresse ambiental dos cafeeiros permitindo um crescimento balanceado, um enchimento e maturação de grãos mais lento e

homogêneo, o que determinaria um produto de melhor qualidade.

ANDROCIOLI FILHO et al. (2003) encontraram relação inversa entre a temperatura média anual e a qualidade do café produzido nas diversas regiões paranaenses. As faixas de temperatura média anual consideradas no estudo variaram de 19 a 24°C, configurando 5 classes com intervalos de 1°C. As características avaliadas foram sabor, aroma, acidez, corpo e doçura. Para todas essas características as notas foram decrescentes com o aumento da temperatura média.

O efeito mais importante da arborização para os cafeicultores é, provavelmente, o impacto na produtividade de grãos, embora fatores como valor das árvores, redução das capinas, longevidade da lavoura, qualidade do café e outros possíveis benefícios da arborização, possam ter um peso importante na tomada de decisão pelos produtores. Um fator que isoladamente determina diferenças importantes na produção do cafezal é a ocorrência de geadas, pois, dependendo da sua intensidade, elas podem reduzir a produção no ano subsequente, anular a produção por um, dois ou mais anos e até matar o cafeeiro.

2.3 A REGIÃO CAFEEIRA PARANAENSE

O Estado do Paraná, na região Sul do Brasil, é limitado pelas latitudes de 22° 27' S e 26° 47' S, tem cerca de 200.000 km² de área, é cortado ao norte pelo trópico de Capricórnio e situa-se em uma zona de transição climática entre o clima tropical e temperado, também denominada de zona subtropical (MAACK, 1968).

A região cafeeira do Paraná se estende desde a fronteira Norte do Estado até onde o risco de ocorrência de geadas permite o seu cultivo comercial, o que acontece em torno de 24° de latitude Sul (CARAMORI *et al.*, 2001). A região se insere no grupo C da classificação climática de Köppen, classificada especificamente como Cfa, de clima subtropical úmido, mesotérmico (temperatura média do mês

mais frio inferior a 18°C e temperatura média do mês mais quente acima de 22°C) com verões quentes, tendência de concentração de chuvas nos meses de verão, sem estação seca de inverno definida e geadas pouco freqüentes (IAPAR, 2000).

As características geográficas e geológicas naturais da região cafeeira paranaense propiciam um clima ameno com precipitações favoravelmente distribuídas durante todo o ano e extensos complexos de terras férteis. A colonização desta região, para a produção de algodão e café principalmente, se deu de maneira extremamente rápida com a destruição quase total da floresta ombrófila latifoliada que cobria a região, restando atualmente apenas pequenos fragmentos da floresta estacional semidecidual original (IAPAR, 1991).

As principais regiões produtoras de café arábica no Brasil sempre estiveram sujeitas à eventual ocorrência de geadas, que causam danos variáveis em função da sua menor ou maior freqüência e intensidade. Apesar da ocorrência relativamente freqüente de geadas na região cafeeira paranaense, os produtores têm convivido com o fenômeno e continuado a produzir de maneira econômica e expressiva, ocupando atualmente a terceira posição entre os estados brasileiros produtores de café arábica. As medidas de defesa contra as geadas são de importância vital para a cafeicultura paranaense.

Quanto à intensidade as geadas podem ser classificadas em severíssimas, severas e moderadas. As severíssimas afetam o cafeeiro de maneira a provocar a morte da parte aérea, com necessidade de replantação das plantas. Para este tipo de geada os métodos usuais de proteção não são efetivos, mas como ocorrem com baixa freqüência (a cada 25-30 anos) constituem um risco aceitável para qualquer atividade agrícola. As severas, consideradas as mais prejudiciais pela freqüência de ocorrência (a cada 5-6 anos), causam danos parciais nas plantas e afetam a produção do ano seguinte. As moderadas, com freqüência esperada de uma a cada 3 anos, causam pouco dano às plantas e afetam pouco a produção do ano seguinte

(CAMARGO²⁴, citado por CARAMORI et al., 2000).

Dentre os métodos de proteção das lavouras de café alguns como a nebulização, o aquecimento e a irrigação por aspersão, são considerados de difícil execução e sua aplicação é limitada. Entre as medidas de proteção adotadas pela quase totalidade dos produtores paranaenses e que têm contribuído para reduzir substancialmente os danos por geada estão a escolha adequada do local para o plantio, evitando-se as partes baixas do relevo e outras situações menos favoráveis, e o zoneamento climático para o cafeeiro. Medidas de curto prazo, tais como o chegamento de terra junto ao tronco do cafeeiro e o enterrio total das mudas de até um ano de idade, têm surtido grande efeito, uma vez que os produtores paranaenses contam com um serviço de alerta meteorológico, operado pelo IAPAR, que divulga a previsão da ocorrência de geadas com antecedência de pelo menos 24 horas, o que permite evitar totalmente os danos nas lavouras recém implantadas e reduzir substancialmente os danos em plantas mais desenvolvidas.

Entre as medidas promissoras para minimizar o efeito das geadas está a arborização do cafezal. A introdução de espécies arbóreas altera o balanço de energia na lavoura e reduz a perda de calor pelas plantas de café, propiciando temperaturas nas folhas de café de 2 a 4 °C mais altas durante a ocorrência de geadas (CARAMORI *et al.*, 2000).

CARAMORI et al. (2001) publicaram um zoneamento de risco climático para o cultivo do cafeeiro no Paraná analisando os seguintes parâmetros: a) risco de geadas, b) temperatura e c) deficiência hídrica. Estes autores definiram como macroclimaticamente aptas uma área preferencial com risco máximo de uma geada a cada 4 anos e uma área de transição com risco de até uma geada a cada três ou quatro anos. Na área de transição deve-se considerar a ocorrência de microclimas

²⁴ CAMARGO, A.P. Características das geadas excepcionalmente severas de 1975. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 3, 1975, Curitiba. **Resumos...** Curitiba, 1975. p. 250-252.

favoráveis ao cultivo do cafeeiro. Com relação às altas temperaturas, encontraram apenas uma pequena área na região Noroeste do PR com temperaturas médias anuais entre 23 e 24°C e deficiência hídrica anual na faixa de 5 a 20mm. Entretanto, consideram que mesmo havendo temperaturas um pouco elevadas para o *C. arabica* o balanço hídrico favorável minimiza os possíveis efeitos do calor, pois o processo de transpiração é um eficiente regulador térmico. Os mesmos autores encontraram baixa frequência de temperaturas acima de 34°C durante o período de floração, o que significa baixo risco.

2.3.1 As Experiências com Arborização de Cafezais no Paraná

As primeiras experiências com arborização do cafezal foram pouco documentadas e se limitam, na maioria das vezes, a mencionar a espécie ou espécies arbóreas usadas e alguns efeitos observados.

LAZZARINI (1962) cita plantio sombreado próximo ao município de Marília, SP, onde o cafezal tinha ótimo aspecto e produtividade e menciona lavoura em Campos Altos, MG, onde o sombreamento proporcionou lavoura melhor que as vizinhas a pleno sol. O autor registrou ainda outro exemplo positivo em Arapongas, PR, onde, na geada de 1955, uma lavoura sombreada teve perda apenas a safra seguinte, enquanto que as lavouras não sombreadas circunvizinhas demoraram dois a três anos para se recuperar. Ele comenta que o sombreamento causa mais redução na produção quanto mais intensa for a sombra e recomenda plantar as árvores em espaçamentos de no mínimo 15 a 20 metros, com podas de maneira a obter uma sombra ao redor de 30%.

A partir dos anos 80 do século passado o estudo da prática de arborização de cafezais no Paraná foi retomada visando principalmente a proteção contra geadas.

Na região cafeeira paranaense, CARAMORI et al. (1996) concluíram que a

arborização com bracatingas numa densidade de 250 árvores por ha foi eficaz em proteger o cafezal da geada, permitindo maior produção na soma de sete colheitas sucessivas.

Avaliando a produção de café no período de 1986 a 1994 em experimento na região Norte do Paraná, BAGGIO et al. (1997) concluíram que a arborização com grevilea numa densidade de 71 árvores.ha⁻¹ (espaçamento de 10 x 14m) não reduziu a produtividade do cafezal. Não houve ocorrência de geadas que afetassem a produção durante o período analisado. Em 1994 ocorreu uma forte geada e a proteção oferecida pelas árvores foi considerada efetiva nas densidades de 71 e 119 grevileas por ha.

MORAIS (2003) registrou redução significativa na produtividade em cafezal sob sombra densa de guandu (*Cajanus cajan*) e atribuiu esta diferença à baixa quantidade de radiação fotossintética recebida pelos cafeeiros. Entretanto, a redução na qualidade da luz pela folhagem também pode ter influência na produtividade do cafeeiro (WILLEY, 1975).

Redução drástica na produção de cafezal arborizado com *Leucaena leucocephala*, atribuída à população exagerada da espécie sombreadora, foi registrada por CARAMORI et al. (1987).

PEREIRA et al. (2003) estudaram a associação seringueira (*Hevea sp.*) x cafeeiro em duas situações distintas, em cafezais depauperados em vias de erradicação e em plantios simultâneos visando a convivência entre as duas espécies. O plantio de seringueiras em um cafezal depauperado e em vias de erradicação provocou a recuperação do cafezal e uma sobrevida produtiva de pelo menos 4 anos, quando o sombreamento causado pelo fechamento das copas da seringueira se tornou excessivo pois o espaçamento da seringueira seguiu as recomendações para plantio solteiro. Além disso, as seringueiras se beneficiaram com a associação, que favoreceu o crescimento em diâmetro e reduziu substancialmente o período de imaturidade do seringal. No segundo caso, visando a

convivência das duas espécies, espaçamentos e arranjos diferentes estão sendo testados com resultados promissores. Nas duas primeiras produções avaliadas não houve efeito negativo sobre a produtividade do cafeeiro. Tampouco o consórcio foi prejudicial à seringueira.

2.4 A SELEÇÃO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS

Em virtude de serem as plantas dominantes no dossel as árvores desempenham um papel chave nos Sistemas Agroflorestais. A escolha das espécies, o número de árvores e a sua distribuição, são decisões cruciais no planejamento de um SAF. Para auxiliar na escolha da árvore apropriada uma série de características técnicas, de manejo e sócio-econômicas, devem ser consideradas nos diversos estágios de desenvolvimento da árvore, tais como as relacionadas ao germoplasma, propagação, plantio, fase juvenil, fase de maturação e fase de senescência e preparação para replantio (HUXLEY, 1983).

A forma geral de uma árvore, num dado momento, é a expressão do equilíbrio entre os processos endógenos de crescimento e as restrições exógenas impostas pelo ambiente. O padrão de crescimento de uma espécie, que determina suas fases arquitetônicas sucessivas, é denominado seu modelo arquitetônico. Sendo inerente à estratégia de desenvolvimento da espécie, tem um caráter dinâmico e é determinado geneticamente (BARTHELEMY et al. 1991). Durante as fases de desenvolvimento a forma da copa de uma determinada espécie pode se alterar de maneira substancial, como por exemplo a copa da araucária, que tem formato cônico na fase juvenil e apresenta sua característica forma de taça quando madura.

O primeiro critério a ser considerado na escolha da espécie arbórea deve ser, obviamente, a sua adaptação ao ambiente. As espécies nativas da região seriam portanto candidatas preferenciais. Mas o conhecimento da silvicultura da

espécie e a facilidade para sua multiplicação e manejo são determinantes na escolha da espécie, o que explica a preferência por espécies exóticas como os eucaliptos e a grevilea.

O valor da madeira e a facilidade de comercialização na região também são fatores decisivos, pois os espaçamentos largos geralmente usados nos SAF's para minimizar a competição com as culturas associadas são compatíveis com a produção de madeira para serraria em rotações curtas (SOMARRIBA et al. 2001).

No zoneamento ecológico para plantios florestais no Paraná (EMBRAPA, 1986) são encontradas recomendações de grande valia para a seleção de espécies arbóreas para SAF's nas diversas regiões ecológicas do estado. Outras publicações trazem subsídios para a escolha de espécies arbóreas para plantios florestais (INOUE, *et al.*, 1984; CARVALHO, 1994), mas são raras as informações sobre a compatibilidade com espécies agrícolas.

Crítérios para escolha das espécies arbóreas para arborização de cafezais são descritos por diversos autores, havendo consenso em algumas características mas não em todas. A arquitetura ou tipo de copa é um aspecto em que há divergência. Enquanto alguns recomendam uma copa "espalhada", típica de espécies com hábito de crescimento simpodial, outros preferem as copas cônicas, típicas de espécies com hábito monopodial.

KIRKPATRIK²⁵ (citado por CAMARGO; PEREIRA, 1994) considera dois tipos distintos de árvores para sombreamento, as com copa "espalhada" que fornecem uma sombra mais homogênea e leve, e as com copa "ereta", que dão uma sombra itinerante ("walking shade").

Para TEJWANI (1987) as árvores para sombra devem preferencialmente ter uma copa "espalhada" que permita uma quantidade uniforme de luz filtrada, ser

²⁵ KIRKPATRIK, T.W. The climate and eco-climates of coffee plantations. Kenya: Amani, 1935.

de rápido crescimento e possuir um sistema radicial profundo para minimizar a competição com o cafeeiro. Ele salienta que as espécies que servem de hospedeiros alternativos para as principais pragas do cafeeiro devem ser evitadas e comenta que as árvores requerem constante atenção e devem ser podadas regularmente para fornecer a sombra desejada. O autor informa que na Índia a *Erythrina lithosperma* é a espécie principal para sombra temporária, enquanto que para sombreamento permanente são preferidas espécies dos gêneros *Albizia* e *Ficus*.

As florestas pluviais montanas latifoliadas da região de origem do cafeeiro arábica apresentam dois estratos arbóreos e dois arbustivos (PHILLIPPIS; SENNI²⁶, citados por SYLVAIN, 1955). O estrato superior com 30 a 40m de altura é composto por espécies dos gêneros *Albizzia*, *Celtis*, *Chrysophyllum*, *Clausenopsis* e *Cordia*. O segundo estrato, em torno de 10 a 20m, é constituído por representantes dos gêneros *Bersama*, *Bridelia*, *Croton*, *Ehretia*, *Ekbergia*, *Ficus*, *Morus*, *Polyscias*, *Pygeum* e *Syzygium*. Nos estratos arbustivos são mencionados os gêneros *Carissa*, *Coffea*, *Gymnosporia* e *Sideroxylon*. SYLVAIN (1955) considerou importante destacar a presença da espécie *Cordia abyssinica* que avaliou ser adequada para arborização do cafeeiro.

BREWBAKER (1987) sumariza algumas características de diversas árvores fixadoras de nitrogênio significativas para sistemas agroflorestais e comenta que uma serapilheira com alto conteúdo de N pode vir a ser mais importante que a sombra em si em algumas situações. Entre as espécies fixadoras de N ele destaca leguminosas como a leucena e a bracatinga, mas também espécies de outras famílias, como as Casuarinaceae.

MITCHELL (1988) considera que a árvore ideal deve reduzir a intensidade da luz em cerca de 25% e ter raízes profundas para não competir com o cafeeiro por

²⁶ PHILLIPPIS, A.; SENNI, L. Le formazioni legnose dell' Africa Orientale Italiana. **Revista di Biologia Coloniale**. n.2, p. 355-370, 1939.

água e nutrientes e buscar nutrientes das camadas mais profundas do solo, favorecendo a reciclagem de nutrientes.

DEMEL e ASSEFA (1991) em pesquisa de campo realizada na província de Harerge, na Etiópia, relatam a utilização de 14 espécies de árvores para sombra permanente, três espécies para sombra temporária e uma espécie herbácea. A espécie herbácea é o tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.), usado como sombra temporária no período de estabelecimento do cafeeiro. As vantagens do uso do tomateiro são duas, a produção de tomates, que são consumidos ou vendidos e a produção de matéria orgânica que é incorporada ao solo. Dentre as espécies arbóreas as encontradas em maior número são *Acacia* spp., *Erythrina burana*, *Cordia africana* e *Ficus* spp. A rápida decomposição dos resíduos das acácias e da *Erythrina burana* foi destacada pelos agricultores. A facilidade de propagação por estacas foi mencionada como vantagem da *Erythrina burana*. Entre as espécies usadas para sombra temporária estão a mamona (*Ricinus communis* L.) e a *Sesbanea sesban* (L.) Merr. Como razões para o uso do sombreamento, que é adotado pela maioria dos agricultores, foram apontadas a maior regularidade das produções e a habilidade da lavoura de sobreviver por períodos mais longos quando comparados com os cafezais a pleno sol. Entre as recomendações de trabalhos futuros os autores citam a seleção das espécies mais benéficas ao cafeeiro e estudos sobre propagação dessas espécies.

CAMARGO e PEREIRA (1994) apresentam a seguinte lista de características de uma boa árvore para arborização do cafezal:

a) um tronco alto e resistente com a copa concentrada no topo; b) resistência a ventos; c) crescimento inicial rápido; d) sistema radicular profundo para evitar a competição com as raízes do cafeeiro; e) não ser hospedeira de pragas que atacam o cafeeiro; f) tolerar a presença de plantas como o cafeeiro no estrato inferior; g) não ter frutos ou não os ter parecidos com os frutos de café, e que estes não afetem a colheita e a qualidade do café.

BEER (1987) considera desejáveis para uma árvore de sombra as seguintes características:

- a) compatibilidade com a cultura, que significa competição mínima por água, nutrientes e espaço; copas acima da cultura; raízes profundas; sobreposição mínima das raízes das espécies do dossel superior e inferior;
- b) sistema radicial vigoroso (não suscetível à queda pelo vento). Árvores de sombra estão mais expostas a condições climáticas adversas do que árvores numa floresta ou plantação e devem ser capazes de adaptação a condições de crescimento livre;
- c) habilidade de enraizamento de estacas, permitindo rápido estabelecimento da sombra por propagação vegetativa;
- d) habilidade de extração de nutrientes do solo que não são absorvidos pela cultura;
- e) habilidade de fixar nitrogênio;
- f) copa leve que permita um padrão de sombra mosqueado ao invés de uma sombra uniforme com luz com qualidade fotossintética pobre;
- g) no caso de espécies produtoras de madeira, uma copa leve com pequeno diâmetro para: 1) reduzir a resistência ao vento e conseqüentemente o risco de queda pelo vento, 2) permitir densidades relativamente altas sem reduzir os níveis de luz a valores críticos para a cultura sombreada e 3) minimizar os danos à cultura quando as árvores forem colhidas;
- h) galhos e tronco não muito frágeis;
- i) galhos e tronco sem espinhos para facilitar o manejo;
- j) crescimento apical rápido;
- k) boa capacidade de desrama natural e habilidade de formar um tronco sem bifurcações em condições de crescimento aberto (hábito monopodial);
- l) tolerância a podas freqüentes e pesadas;
- m) alta produção de biomassa de material reciclável através de queda de folhas e

- podas; folhas e material lenhoso facilmente decomponíveis.;
- n) se decídua, rápida regeneração da folhagem permitindo recuperação da sombra;
 - o) ausência de suscetibilidade a pragas e doenças importantes que possam levar à uma súbita perda de folhas;
 - p) folhas pequenas que minimizem a coalescência das gotas de chuva e subsequente danos por gotejamento;
 - q) ausência de propriedades alelopáticas;
 - r) casca lisa que não abrigue epífitas;
 - s) madeira valiosa, produtora de frutos ou outro produto (látex em *Hevea* sp.);
 - t) não ser um hospedeiro alternativo para insetos e patógenos que sejam inimigos principais da cultura;
 - u) espécies de sombra não devem ter capacidade de se tornar uma invasora (ex. *Ricinus communis* e *Leucaena leucocephala*).

A árvore ideal para arborização de cafezais, segundo CAMARGO e TELLES JR (1953), deve ter as seguintes características:

- a) afinidade comprovada com o cafeeiro;
- b) ser fixadora de nitrogênio;
- c) produzir e derrubar grande quantidade de folhas ricas em minerais;
- d) ter sistema radicular forte para não ser derrubada pelo vento;
- e) cerne resistente para evitar quebra de galhos;
- f) raízes profundas para buscar água mais fundo;
- g) copa esparramada e ampla, e não em cone, a fim de abrigar maior número de cafeeiros, possibilitando uma redução no número de árvores;
- h) que esparrame seus galhos, bem abertos, isto é, que formem uma copada rala, permitindo a passagem franca, por toda parte de, pelo menos, metade de intensidade luminosa do sol, tornando menos freqüentes as correções por intermédio de podas;

- i) que não seja de porte muito alto, ao ponto de dificultar os trabalhos de correção de sua copa;
- j) que apresente tronco linheiro, até pelo menos 5 metros, a fim de que os seus primeiros galhos não venham a abafar o cafeeiro, sendo que a distância entre os extremos do cafeeiro e os galhos sombreadores inferiores deverá ser, no mínimo de 2 metros;
- k) que sejam de vida longa, isto é, de longa duração, a fim de serem evitados, tanto os trabalhos de uma nova plantação, como os transtornos provocados nos cafeeiros por uma insolação intempestiva;
- l) que apresente certa rusticidade, para melhor resistência às pragas e às doenças;
- m) que tenha crescimento rápido para se obter um sombreamento eficiente no menor tempo possível;
- n) que possuam, se possível, folhas nicnásticas, isto é, que se fechem à noite, e assim facilitem a queda do orvalho sobre os cafeeiros, e possibilitem, também, um aumento da ventilação;
- o) que não possua órgão ou excreções prejudiciais aos trabalhadores, tais como espinhos, pelos ou polens que irrite a pele;
- p) que não tenha frutos que possam albergar insetos e fungos prejudiciais aos grãos de café ou aos diversos órgãos do cafeeiro;
- q) que se adapte bem ao meio, isto é, que se desenvolva normalmente na região onde vai ser empregada, uma vez que, como é sabido, as plantas reagem diferentemente de acordo com o ambiente ecológico onde se encontram;
- r) que não tenha tendência a bifurcar-se e a emitir galhos a pequena distância do solo, porque as árvores de forquilha baixa são mais facilmente quebradas pelas ventanias;
- s) que resistam às geadas e ventos frios;
- t) que nas zonas isentas de geada apresentem folhas caducas, a fim de

possibilitar um bom impacto de luz que estimule a produção de gemas florais às vésperas da frutificação.

Embora defensores da arborização dos cafezais CAMARGO e TELLES JR. (1953) relacionam algumas árvores nativas cuja presença consideram indesejável junto ao cafeeiro: o monjoleiro, a farinha seca, a guarucaia e o pau d'alho. Eles consideram que nem todos os angicos são adequados. A farinha seca, entretanto, é recomendada por CAMARGO (1985), mas se referindo à espécie *Peltophorum vogelianum* Benth., sinônimo de *P. dubium* (Spreng.) Taub. segundo LORENZI (1992), árvore conhecida no norte do Paraná como canafístula. Como os primeiros autores não mencionam o nome científico da farinha seca não se pode afirmar com certeza ser a mesma espécie ou uma outra espécie nativa conhecida pelo mesmo nome, a *Albizia hasslerii* (Chodat) Burr. (LORENZI, 1992).

Baseados em observações num plantio na região de Londrina na década de 50 realizado sob a floresta original raleada, CAMARGO e TELLES JR. (1953) reafirmam a incompatibilidade com o cafeeiro, das seguintes espécies nativas: faveiro, jacaré, palmito branco e angico vermelho. Eles são defensores dos ingazeiros para a arborização do cafezal, principalmente devido à grande quantidade de folhas que derrubam e que favorece a acumulação de matéria orgânica na superfície do solo. Os autores relacionam diversas espécies do gênero *Inga*, tais como *I. edulis* (ingá-rabo-de-mico), *I. striata* (ingá quatro quinas), *I. sessilis* (ingá-ferradura), *I. spectabilis* (ingá-facão) e afirmam que todas as espécies nativas de ingazeiros de porte alto e vida longa se prestam para o sombreamento de cafezais e recomendam evitar os ingás de porte pequeno como o *I. uraguensis* Hook e Arn. e o *I. marginata* Willd. Outras espécies arbóreas relacionadas por esses autores como adequadas para o sombreamento são diversas espécies nativas dos gêneros *Erythrina* e *Affonsea*, o tamboril (*Enterolobium contortisiliquum* [Vell.] Morong), o pisquim (*Albizzia malacocarpa* Standl.), a tipuana (*Tipuana tipu* [Benth.] O. Kze.), o lamtoro (*Leucaena glauca* [L.] Benth.), o pau pereira (*Platygyamus regnellii* Benth.), a

grevílea (*Grevillea robusta* A. Cunn.), a figueira branca (*Ficus eximia* Schott.), o jacarandá caroba (*Jacaranda ovalifolia* R. Br.) e a seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell.-Arg.).

Entre as árvores de sombra citadas por LAZZARINI (1962) como compatíveis com o cafeeiro estão: *Inga edulis* Mart. (ingá-rabo-de-mico ou cipó), *I. sessilis* (Vell.) Mart. (ingá-ferradura), *I. striata* Benth. (ingá-de-quinás), *Erythrina* sp., *Albizzia malacocarpa* Standl. (pesquim ou muche), *Grevillea robusta* A. Cunn. e *Ficus eximia* Schott (figueira-branca). O autor considera o *Inga edulis* a espécie mais difundida para este propósito.

FRANCO (1952) informa sobre um ensaio de espaçamento de ingazeiros na arborização de cafezais em Botucatu, SP, com mais de 10 anos de idade. Os espaçamentos experimentados foram de 4 x 4; 8 x 8; 12 x 12 e 16 x 16 m. Nos dois espaçamentos maiores o estado vegetativo dos cafeeiros era bom, ao contrário dos cafeeiros nos dois espaçamentos mais densos. Entretanto, o autor comenta que os espaçamentos citados eram apenas teóricos, e que devido ao grande número de falhas entre os ingás talvez fossem o dobro do indicado.

CAMARGO e TELLES JR. (1953) comentam sobre a experiência de Navarro de Andrade com eucaliptos no município de Rio Claro, interior paulista. Nos primeiros anos após o plantio dos eucaliptos em talhões com cafeeiros depauperados os cafeeiros apresentaram uma animadora recuperação, mas com o decorrer dos anos as árvores acabaram por aniquilá-los. Os autores informam que fenômeno semelhante ocorreu em outras fazendas, desacreditando o sombreamento nos meios agrícolas de São Paulo, Minas e Paraná. O efeito inicial favorável do plantio dos eucaliptos nos cafezais do Horto Florestal da Companhia Paulista de Estradas de Ferro foi registrado por ROCHA (1927), que demonstrou efeito do sombreamento na elevação do teor de cafeína nos grãos de café.

2.4.1 A Estratégia de Seleção das Árvores

É compreensível que a tarefa de encontrar uma árvore que atenda a todas as características imaginadas pelos diversos autores citados seja praticamente impossível. O número de espécies com potencial de uso na arborização é grande e a abordagem experimental tradicional com parcelas em delineamentos convencionais é de difícil execução.

As limitações encontradas no estudo de sistemas agroflorestais multiestratificados como o de cafeeiros arborizados foram sumarizadas e discutidas por SOMARRIBA et al. (2001). Entre as limitações apontam o tamanho das parcelas experimentais. No estudo de SAF's com árvores altas e de rápido crescimento o tamanho mínimo da parcela deve ser de 2500m², pois em estudos de longo prazo (>10 anos) as árvores interferem nas parcelas adjacentes devido ao sombreamento ou à invasão das raízes.

Segundo SOMARRIBA et al. (2001), estudos em propriedades particulares apresentam limitações devido à ausência de controle de variáveis relacionadas ao cafeeiro (densidade de plantio, idade das plantas e variedades), às árvores (espécies, espaçamento e manejo), ao sítio (tipo de solo e declividade) entre outras. Os experimentos com delineamentos sistemáticos para estudar a densidade das árvores evitam as parcelas muito grandes, mas são muito sensíveis às questões de homogeneidade do sítio e mortalidade localizada das árvores e dos cafeeiros. Como alternativa eficiente os autores apontam os métodos baseados em amostragem em "transects" realizados em propriedades de produtores.

Esta abordagem ("transect approach") foi utilizada em caráter exploratório com resultados promissores por MUSCHLER (1998) para comparar a compatibilidade ecológica de 5 espécies arbóreas com o cafeeiro.

As avaliações feitas por MUSCHLER (1998) indicaram a seguinte ordem de compatibilidade entre as árvores e o cafeeiro: *Cassia grandis* > *Casuarina*

equisetifolia = *Eucalyptus deglupta* > *Citrus aurantium* = *Croton killipianus*. A melhor classificação da *Cassia grandis* foi atribuída em parte à *caducifolia* da espécie durante a estação seca, pois os cafeeiros sob sua área de influência devem ter recebido luz suficiente para estimular a floração. O autor argumenta que a ausência de estresse hídrico nas condições do estudo limitou a competição no interior do solo e que as diferenças observadas entre as espécies devem ser explicadas em grande parte por características das copas. Ele cita como uma das limitações da abordagem de "transect" o fato de que os efeitos da sombra, da competição no solo e alelopáticos ficam confundidos, não permitindo sua avaliação em separado.

As espécies escolhidas para os experimentos foram a bracatinga, a casuarina, a grevilea, a leucena e o pinus. Duas delas, a leucena e a bracatinga, com hábito simpodial e copa "espalhada" e as demais com hábito de crescimento monopodial e copa com formato cônico. Segue uma pequena descrição de cada uma dessas espécies.

2.4.2 Bracatinga

Bracatinga é o nome comum da espécie *Mimosa scabrella* Benthams, que pertence à família *Fabaceae*. Esta árvore perenifolia atinge normalmente 10 a 18 m de altura e 20 a 30 cm de DAP. É uma espécie do grupo sucessional das pioneiras, heliófita típica, que se multiplica através de sementes. Na região de ocorrência natural, em função da sua capacidade de colonização, chega a formar associações puras conhecidas como bracatingais. No Paraná é espécie característica e exclusiva da vegetação secundária da Floresta Ombrófila Mista (Floresta com araucária), mas é pouco abundante nos pinheirais não perturbados (CARVALHO, 1994).

Em maciços oriundos de regeneração natural apresenta crescimento reto e sem ramificação lateral, mas quando plantada por mudas em espaçamentos largos apresenta-se bifurcada e com ramificação pesada (CARVALHO, 1994). O fato da

espécie estar fora da área bioclimática recomendada geralmente tem reflexo na longevidade das plantas (EMBRAPA, 1986). CARAMORI et al. (1996) registraram mortalidade precoce (aos 4 – 5 anos) da bracatinga em experimento de arborização de cafeeiros em Londrina.

O crescimento inicial da espécie é considerado um dos mais rápidos na região Sul do Brasil. Sua produtividade pode variar muito. Plantada por mudas em Concórdia, SC, num compasso de 3 x 2 m, alcançou aos 4 anos produções de 36 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ ou 55 st.ha⁻¹.ano⁻¹. Em regeneração natural na região de Curitiba a produtividade anual média pode variar de 12,5 a 15 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, ou de 22 a 26 st.ha⁻¹.ano⁻¹. Na Argentina, em Misiones, a produtividade alcançou 86 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ ou 161,6 st.ha⁻¹.ano⁻¹ aos 4 anos num espaçamento 2 x 2 m. A recomendação da idade de rotação varia de 4 a 7 anos quando em regeneração artificial para produção de energia e de 6 a 8 anos quando em regeneração natural para energia e escoras, numa densidade média de 2200 plantas.ha⁻¹ (CARVALHO, 1994).

Introduzida na Costa Rica para sombreamento em cafezais tem sido utilizada para produção de lenha com rotações de 3 a 5 anos. Entre os esquemas de manejo estudados um dos mais promissores consistiu em podar os ramos inferiores da bracatinga, a partir dos 18 meses, até 1,5 a 2 m acima da altura dos cafeeiros, seguida da poda do ramo ortotrópico. Neste esquema a produção de lenha por árvores de 2 anos de idade tem sido de 10 a 18 st.ha⁻¹.ano⁻¹. Em diversas localidades na Costa Rica os dados de crescimento em plantios consorciados com cafeeiros mostram excelente desenvolvimento inicial da bracatinga, com valores de incremento médio anual de 4,1 a 4,6 m em altura e 4,9 a 6,2cm em DAP, em densidades de 635 árvores.ha⁻¹ e em regime sem manejo das árvores. Com manejo os incrementos foram de 2,6 a 4,9 m de altura e 7,1 cm de DAP. Os espaçamentos adotados variam de 4 x 4 m até 6 x 6 m, com possibilidade de alteração para 4 x 8 m e 6 x 12 m através de desbastes (PICADO, 1985).

Com densidade de 0,51 a 0,61 g.cm⁻³ a madeira da bracatinga é usada

principalmente como lenha, embora possa ser utilizada para vigamentos e escoras na construção civil, caixotaria, compensados, laminados, aglomerados, peças torneadas etc. Aceita tratamento com preservativos, podendo ser empregada em postes e construções (PICADO, 1985; CARVALHO, 1994).

2.4.3 Casuarina

Da família botânica das *Casuarinaceae*, *C. equisetifolia* Forst. e Forst. é uma espécie recomendada por EMBRAPA (1986) para plantio em todas as regiões bioclimáticas do Paraná devido à sua capacidade de adaptação a diversos ambientes. É uma espécie actinorrízica, ou seja, capaz de fixar nitrogênio através de associação com microrganismos do gênero *Frankia*, habilidade só descoberta em meados do século passado (EL-LAKANY, 1996).

Introduzida em diversos países é provavelmente a mais conhecida e utilizada das espécies da família *Casuarinaceae*. Possui características que a tornam uma opção importante para plantios com finalidades múltiplas. É árvore alta e tem ciclo de vida relativamente longo (40-50 anos), produzindo abundantemente sementes de fácil e rápida germinação e com boa capacidade de armazenamento (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1984). Apresenta hábito de crescimento monopodial e boa forma florestal. No sudoeste paranaense registrou-se, aos 5 anos, produtividade de $32 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (EMBRAPA, 1986). Em Londrina, algumas procedências apresentaram altura média de 11 m aos 4 anos de idade (LEAL; RAMOS, 2000).

É uma espécie de rápido crescimento que produz lenha de excelente qualidade e madeira de alta densidade com boa resistência à decomposição. Sua utilização inclui diversas finalidades como quebra-ventos, sombreamento de cultivos agrícolas, estabilização de dunas, recuperação de áreas degradadas e produção de madeira para lenha, carvão, escoras, vigas, palanques e moirões. É cultivada em

idades e no meio rural como espécie ornamental. Embora sua madeira não seja adequada para desdobro por rachar muito na secagem, em áreas com carência de matéria prima florestal é utilizada para fabricação de móveis simples (DOMMERGUES, 1990).

2.4.4 Leucena

A espécie *Leucaena diversifolia* Bentham, da família *Fabaceae*, é a segunda mais conhecida do gênero depois da *L. leucocephala*. Em alguns locais seu desempenho é muito superior ao da *L. leucocephala*, como no Havaí, onde BRAY e SORENSSON (1992) registraram produção de biomassa cinco vezes maior. Em Londrina, aos dois anos, num espaçamento de 1,0 x 1,0 m, atingiu uma altura média de 8,0 m contra 4,2 m da *L. leucocephala* (LEAL; RAMOS, 1994).

É uma árvore de porte médio, alcançando 10 a 20 m de altura e 10 a 40 cm de DAP. É utilizada principalmente para lenha, polpa, sombra e revegetação, mas também como adubo verde e forragem. Como forragem, em algumas linhagens de *L. diversifolia*, foram registradas digestibilidades de 10 a 20 % menores do que em *L. leucocephala*, mas seu maior conteúdo em taninos pode proteger as proteínas da degradação no rumem e permitir sua absorção no intestino delgado, que é metabolicamente mais eficiente. O conteúdo de mimosina (1,5 a 2,5%) é cerca da metade do encontrado na *L. leucocephala* (4%). Na Indonésia e no México é encontrada em sistemas agroflorestais com café (BRAY; SORENSSON, 1992).

2.4.5 Grevílea

Grevillea robusta A. Cunn. é a maior espécie neste gênero da família *Proteaceae*. Espécie de rápido crescimento, em sítios propícios pode alcançar produtividades de 20 a 30 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Em monocultura apresenta crescimento inferior ao encontrado em plantas isoladas ou em linha. Incrementos anuais em

altura de 2m durante os primeiros 5 anos são comuns em locais com clima e solo adequados.

Nativa das regiões subtropicais costeiras da Austrália, é cultivada com sucesso em diversos países e cresce desde o nível do mar até mais de 2300 m de altitude. Possui capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas e resistência a geadas leves quando madura, entretanto as plantas jovens são sensíveis ao frio. É heliófita, apresenta hábito de crescimento monopodial e boa forma florestal. Produz madeira de média densidade apropriada para desdobro e fabricação de móveis. É considerada adequada para lenha, apresentando bom poder calorífico. É recomendada para plantio nas regiões mais quentes do Paraná (EMBRAPA, 1986; HARDWOOD; BOOTH, 1992).

Na formação de quebra-ventos na região cafeeira do Paraná foi a única espécie utilizada pelos agricultores, seguindo recomendação do extinto Instituto Brasileiro do Café. Muito plantada a partir de 1975 é utilizada nas serrarias da região (BAGGIO et al. 1997).

Para arborização de cafezais no Paraná espaçamentos entre 12 a 18 m foram sugeridos por BAGGIO (1983). O autor comenta que, num espaçamento de 8 x 8m, com menos de 10 anos de idade a grevílea apresentava nível de sombreamento excessivo, reduzindo drasticamente a produção dos cafeeiros.

Novos materiais genéticos foram introduzidos recentemente e estão apresentando desempenho bastante superior aos disponíveis no mercado. Ganhos genéticos de até 187% em volume foram conseguidos na região Norte do Paraná (MARTINS et al., 2002).

De acordo com HARDWOOD e BOOTH (1992) a grande popularidade da espécie para arborização de lavouras de chá e café se deve a fatores como: a) produz uma gama de produtos úteis e de valor, tais como madeira, lenha, escoras e cobertura morta; b) é de fácil propagação e implantação, além de não ser significativamente afetada por pragas e doenças; c) desenvolve raízes proteóides,

que funcionam de maneira semelhante às micorrizas aumentando sua habilidade de capturar água e nutrientes em solos de baixa fertilidade; d) compete relativamente pouco com as culturas adjacentes, aparentemente como consequência da sua copa clara e do seu sistema radicular profundo; e) responde bem à poda, tanto dos galhos como das raízes laterais, permitindo assim regular o nível de competição com as culturas adjacentes.

2.4.6 Pinus

O gênero *Pinus*, pertencente à família *Pinaceae*, é o mais difundido no Paraná, com os plantios concentrados nas regiões mais frias do Estado. As espécies mais plantadas são *P. taeda* e *P. elliottii* var. *elliottii*. Da matéria prima oriunda de reflorestamentos, o gênero *Pinus* contribui com 75% do consumo de madeira serrada, número que revela a importância desse gênero para a indústria paranaense (POLZI et al., 2003).

Pinus oocarpa Schiede é uma espécie que ocorre naturalmente na América Central, desde o México até a Nicarágua, em altitudes entre 400 e 2600m. A madeira, com densidade de 0,45 a 0,60 g.cm⁻³, pode ser utilizada para laminados, chapas de fibras e celulose de fibra longa. Não é uma espécie boa produtora de resina. Entre os pinus tropicais é a que apresenta maior tolerância ao frio. É recomendada para plantios comerciais nas regiões mais quentes do Paraná (EMBRAPA, 1986).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os dois experimentos conduzidos para elaboração da tese foram instalados na estação experimental do IAPAR em Londrina, PR, cujas coordenadas geográficas aproximadas são: latitude 23° 23' S e longitude 51° 10' W.

Com altitude em torno de 585 m, Londrina se insere numa região de clima subtropical, definido como Cfa segundo classificação de Köppen, com geadas pouco freqüentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida. A temperatura média anual é de 21°C e a precipitação anual ao redor de 1400 mm (INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 1994).

As duas áreas experimentais são próximas (cerca de 600 m) e o solo é uniforme e semelhante, reconhecido como Latossolo Vermelho Distroférico (Rhodic Ferralsol, Haplorthox). O experimento 1 (fig. 2) ficou localizado na face leste de uma pendente e o experimento 2 (fig. 3) na face oeste, ambos com declividade uniforme na classe de relevo suave ondulado (5 a 8 %). As características químicas do solo nas áreas experimentais obtidas pela análise de rotina no laboratório de solos do IAPAR, em amostras compostas coletadas nos experimentos, estão na Tabela 1.

As propriedades físico-hídricas do solo das áreas experimentais foram descritas em detalhe por FARIA e CARAMORI (1986). A umidade do solo no ponto de murcha permanente, correspondente à tensão de 1,5 Mpa, apresenta valores médios de 33,0%, 32,7% e 30,4% nas camadas de 0 - 20 cm, 21 - 40 cm e 41 - 60 cm, respectivamente.

Os tratos culturais capina, adubação e controle fitossanitário, foram executados em toda a área experimental de maneira uniforme, em ambos os experimentos, de acordo com as recomendações padrão do IAPAR (CHAVES, 1989; CHAVES, 2002).

FIGURA 2 - VISTA DO EXPERIMENTO 1



FIGURA 3 - VISTA DO EXPERIMENTO 2



TABELA 1 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO NAS ÁREAS EXPERIMENTAIS

| Elementos | Experimento 1 | | Experimento 2 | |
|---|-------------------|---------|---------------|---------|
| | Profundidade (cm) | | | |
| | 0 - 20 | 20 - 40 | 0 - 20 | 20 - 40 |
| P (mg.dm ⁻³) | 8,10 | 3,20 | 4,48 | 1,90 |
| C (g.dm ⁻³) | 19,19 | 14,94 | 16,93 | 13,22 |
| pH | 5,11 | 4,97 | 5,48 | 5,38 |
| Al (cmol _c .dm ⁻³) | 0,05 | 0,11 | 0,00 | 0,02 |
| H+Al | 5,41 | 5,50 | 4,33 | 4,44 |
| Ca | 4,39 | 3,25 | 4,93 | 4,24 |
| Mg | 2,29 | 2,14 | 2,89 | 2,83 |
| K | 0,58 | 0,27 | 0,73 | 0,49 |
| S | 7,25 | 5,66 | 8,55 | 7,55 |
| T | 12,65 | 11,16 | 12,88 | 11,99 |
| V % | 57,08 | 50,51 | 66,26 | 62,67 |
| Al % | 0,76 | 2,37 | 0,00 | 0,40 |

FONTE: IAPAR - Laboratório de Solos e Tecido Vegetal

3.1 EXPERIMENTO 1 - AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DE QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS COM O CAFEEIRO.

3.1.1 Instalação do Experimento e Delineamento Experimental

Ao final de 1996, em uma área de 14.515 m² foram plantados cafeeiros da cultivar IAPAR 59, uma muda por cova, num espaçamento de 1,20 m por 0,80 m, resultando numa densidade de 10.416 plantas de café por ha. As parcelas experimentais, medindo 25,2 m x 28,8 m (725,76 m²), foram demarcadas

aleatoriamente nessa área seguindo um delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições, perfazendo um total de 20 parcelas experimentais. No centro de 16 das parcelas experimentais foi plantada uma muda de árvore entre duas covas de cafeeiros no sentido da linha de plantio. Os cafeeiros foram plantados em outubro e as árvores em dezembro. Os tratamentos foram quatro espécies florestais associadas aos cafeeiros, além de um tratamento testemunha com cafeeiros solteiros. As espécies florestais testadas foram grevilea (*Grevillea robusta*), casuarina (*Casuarina equisetifolia*), pinus (*Pinus oocarpa*) e leucena (*Leucaena diversifolia*). Após a ocorrência de geadas severíssimas em julho de 2000 os cafeeiros foram recepados a uma altura média de 40 cm.

3.1.2 Amostragem das Variáveis e Equipamentos de Medição

Nas árvores foram medidas, semestralmente, as alturas comercial e total com auxílio de uma vara telescópica graduada, o diâmetro a 1,30 m (DAP) com fita diamétrica e o diâmetro da copa, que foi medido em cruz, ou seja, uma medida da copa no sentido da linha de plantio e outra medida perpendicular à primeira, ambas com auxílio de uma trena. Os valores de diâmetro da copa foram obtidos por média aritmética entre as duas medidas.

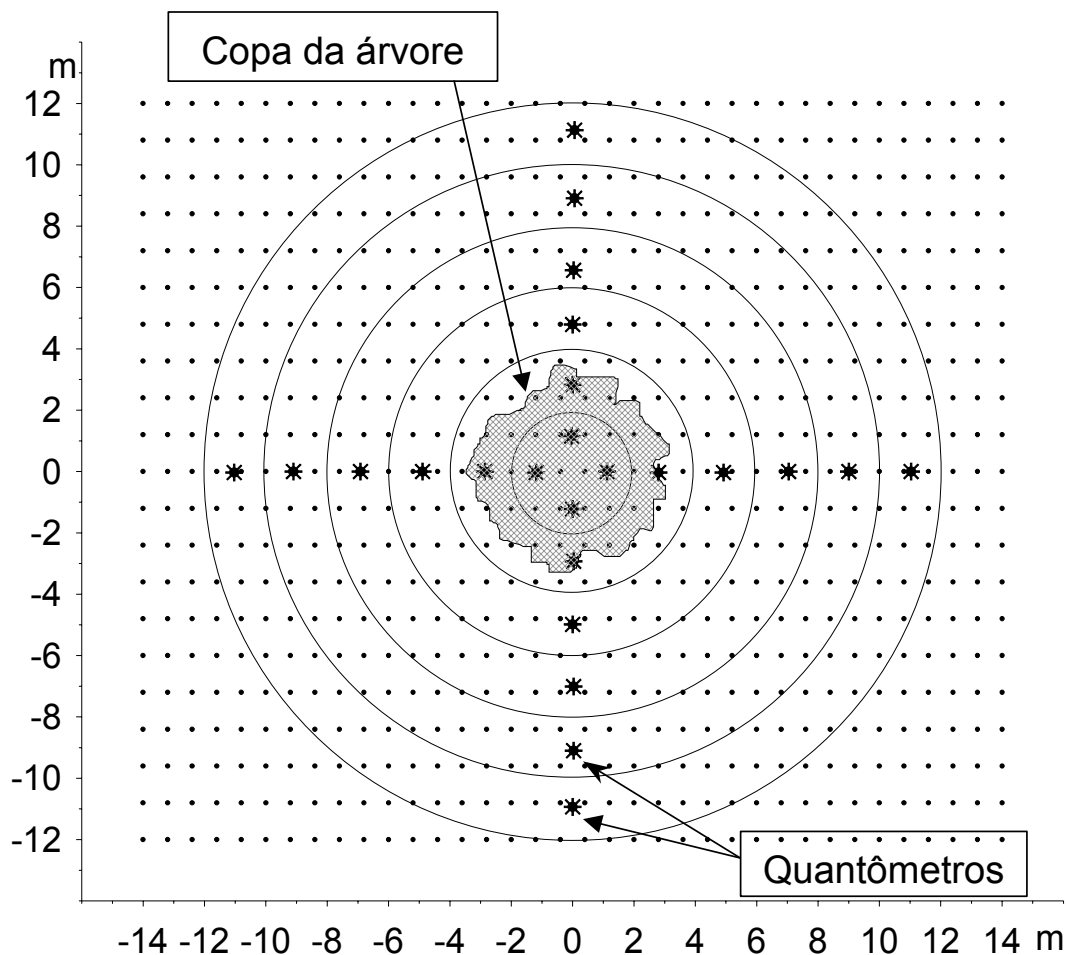
Nos cafeeiros foi estimada a produção de grãos beneficiados em distâncias progressivas da árvore localizada no centro da parcela. Dividiu-se a parcela amostral em quatro quadrantes e em seis círculos concêntricos com raios de 2, 4, 6, 8, 10 e 12 metros. Para cada faixa de distância considerada foram amostradas duas plantas de café em cada quadrante, perfazendo um total de oito plantas por distância e 48 plantas em cada parcela. Nas parcelas testemunha (sem árvores) foram amostrados oito cafeeiros aleatoriamente.

A figura 4 ilustra a parcela experimental e as divisões em círculos concêntricos. Cada círculo representa uma faixa de distância, ou seja, o primeiro

círculo representa a área de 0 a 2 m da árvore (A_{0-2}), o segundo círculo representa a faixa de 2 a 4 m da árvore (A_{2-4}) e assim por diante até o último círculo, que representa a faixa de 10 a 12 m da árvore (A_{10-12}).

Nas parcelas com árvores a temperatura das folhas do cafeeiro e a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) foram medidas em dois transectos perpendiculares entre si e localizados aproximadamente nas direções norte-sul e leste-oeste. No centro de cada faixa de distância da árvore e em cada quadrante foi colocado um sensor de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) a 1,70 m de altura e num cafeeiro próximo fixou-se um termopar na face inferior de uma folha exposta da parte superior da copa e face norte. Cada faixa de distância ficou, portanto, com quatro sensores de temperatura e quatro de RFA, um em cada quadrante (fig. 4). A análise desses dados foi efetuada com a média entre os quadrantes para cada uma das 6 distâncias. Devido à disponibilidade de apenas um conjunto de sensores, as medições de DFFFA e temperatura das folhas dos cafeeiros foram efetuadas em um exemplar selecionado de cada espécie arbórea por vez e por um período de tempo suficiente para caracterizar um dia frio e um dia quente.

FIGURA 4 - DETALHE DA PARCELA EXPERIMENTAL MOSTRANDO A POSIÇÃO DOS QUANTÔMETROS.



NOTA: os pontos representam os cafeeiros.

Foram utilizados três coletores automáticos de dados, modelo CR10X marca Campbell Scientific, para armazenar os dados de temperatura e radiação solar, todos programados para fazer a leitura dos sensores a cada 30 segundos e armazenar a média das leituras a cada 15 minutos. Uma das estações de coleta, denominada E1, permaneceu em uma das parcelas testemunha durante todo o período experimental. O sensor de RFA utilizado nesta estação foi um quantômetro com detector fotovoltaico de silicônio de alta estabilidade modelo LI190SB produzido pela LI-COR, com sensibilidade a comprimentos de onda na faixa de 400 a 700 nm,

colocado em base nivelada a 2,50 m de altura. A constante de calibração foi fornecida pelo fabricante, de acordo com as normas do U.S. National Institute of Standards Technology (NIST). Os valores de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) foram expressos em $\mu\text{moles.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$, unidade que corresponde a um $\mu\text{Einstein.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$ ou $6,02 \times 10^{17}$ fótons. $\text{s}^{-1}.\text{m}^{-2}$. Os fluxos totais diários (FTFFA), obtidos por integração da DFFFA, foram expressos em mmoles.s^{-1} . Definições e procedimentos de conversão entre diversas unidades de radiação podem ser encontradas em THIMIJJAN e HEINS (1983).

As duas outras estações automáticas de coleta de dados, denominadas E2Q e E2T, foram equipadas com um multiplexador de canais modelo AM416 fabricado pela Campbell Scientific.

Na estação E2Q foram instalados 24 sensores de RFA construídos com fotodiodos modelo G1118 (tipo GaAsP) com resposta espectral na faixa de 300 a 680 nm e pico a 640 nm, fabricados pela Hamamatsu Corporation. O uso de sensores deste tipo para estudos de ecologia foi desenvolvido e descrito por GUTSCHICK et al. (1985). CHAZDON et al. (1988) utilizaram aparato semelhante para estudo de variação de luz entre folhas de uma mesma planta e entre diferentes plantas num ambiente sombreado em floresta tropical.

A calibração dos sensores construídos com o fotodiodo modelo G1118 foi feita por meio de regressão linear entre os valores medidos nestes e os obtidos com o quantômetro comercial modelo LI190SB da LI-COR, tendo sido encontrada estreita correspondência entre eles com coeficientes de determinação (R^2) na faixa de 0,98 a 0,99. Os fotodiodos de dois pinos, montados em conectores para diodo, foram ligados ao multiplexador de sinais (AM416) com fios isolados 2 x 26 AWG. Utilizaram-se resistores de precisão (1%) de 56 ohms na conexão do AM416 com o coletor automático (datalogger CR10X) de maneira a trazer o sinal elétrico dos fotodiodos para a faixa de voltagem adequada (máximo de 10 mV a pleno sol, semelhante a do modelo LI190SB). Estes quantômetros foram fixados com fita

adesiva em barras de ferro (diâmetro 3/8" CA50 com 2,35 m de comprimento) enterradas até ficarem a 1,70 m de altura do solo e nivelados visualmente com auxílio de um nível de bolha.

Na estação E2T foram instalados 24 termopares tipo T (cobre-constantã) calibre AWG 24 fornecidos pela Omega Engineering, USA. A junção de cada termopar foi fixada em contato com a face inferior de uma folha de café exposta com auxílio de um clipe plástico. O coletor de dados foi programado para armazenar as temperaturas média, máxima e mínima a cada 15 minutos.

3.1.3 Análises Estatísticas

A produção de café beneficiado ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) nos tratamentos nos anos de 2002 e 2003 foi analisada através de ANOVA usando-se o procedimento PROC ANOVA do programa estatístico SAS. Os valores da parcela experimental perdida (parcela com grevilea do bloco A) foram estimados conforme procedimento descrito em GOMES (1982). A comparação entre os tratamentos foi feita para cada distância separadamente de duas maneiras: a) considerando apenas a média na faixa de distância (por exemplo: na faixa de 4 a 6 m); e b) avaliando a produtividade desde o tronco até a distância selecionada (por exemplo: de 0 m até 6 m). Nesta última, a produtividade média até a distância considerada foi calculada pela média em cada faixa ponderada pelas áreas ocupadas pelas respectivas faixas.

Exemplo dos cálculos da produção média de café até as diferentes distâncias da árvore:

Produção média até 2 m = prod. média por ha na área A_{0-2} ;

Produção média até 4 m = $((\text{prod. média por ha na } A_{0-2} \times \text{área } A_{0-2}) + (\text{prod. média por ha na } A_{2-4} \times \text{área } A_{2-4})) / (\text{área } A_{0-2} + \text{área } A_{2-4})$;

Produção média até 6 m = $((\text{prod. média por ha na } A_{0-2} \times \text{área } A_{0-2}) + (\text{prod. média por ha na } A_{2-4} \times \text{área } A_{2-4}) + (\text{prod. média por ha na } A_{4-6} \times \text{área } A_{4-6})) / (\text{área } A_{0-2} + \text{área } A_{2-4} + \text{área } A_{4-6})$;

$A_{0-2} + \text{área } A_{2-4} + \text{área } A_{4-6}$);

e assim por diante até a distância de 12 m da árvore. Na prática a produtividade numa lavoura será sempre a calculada desta última forma.

3.2 EXPERIMENTO 2 - ARBORIZAÇÃO DE CAFEEIROS COM BRACATINGA

3.2.1 Instalação do Experimento e Delineamento Experimental

Cafeeiros da cultivar IAPAR 59 foram plantados no espaçamento de 1,50 m entre linhas por 0,80 m na linha de plantio, uma muda por cova, em janeiro de 1998. Após as geadas severíssimas ocorridas em julho de 2000 os cafeeiros foram recepados, em setembro, a 40 cm de altura. Posteriormente foram demarcadas 9 parcelas experimentais com área de 756 m² (31,5 m x 24,0 m) cada perfazendo uma área experimental total de 6804 m². Em outubro de 2001 mudas de bracatinga foram plantadas nas linhas de café, num espaçamento de 4,0 m x 4,5 m, nas 6 parcelas sorteadas para receber os tratamentos arborizados. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com três repetições.

Durante o primeiro ano do experimento apenas um tratamento arborizado foi considerado (denominado T2), pois as parcelas correspondentes aos dois tratamentos arborizados tinham a mesma densidade (555 plantas.ha⁻¹). No início de dezembro de 2002 foi realizado o desbaste da bracatinga na metade das parcelas arborizadas ficando estabelecido então o segundo tratamento com bracatinga (denominado T3), correspondente a uma densidade de 139 plantas.ha⁻¹, com espaçamento de 8,0 m x 9,0 m.

Os tratamentos testados foram, portanto, cafeeiros arborizados com duas densidades de bracatinga e um tratamento testemunha com cafeeiros solteiros a pleno sol (denominado T1). O tratamento T3, com densidade de arborização menor, foi implantado apenas no segundo ano.

A área útil nas parcelas experimentais utilizada para avaliação da produção de café foi de 72 m², correspondendo teoricamente a 60 plantas de café, não considerando as falhas. A produção de café beneficiado por planta foi calculada como a média entre as plantas presentes na área útil, incluindo aquelas que não apresentaram produção no ano. A produção de café por tratamento foi avaliada em quilogramas de café beneficiado por ha (kg.ha⁻¹).

3.2.2 Amostragem das Variáveis e Equipamentos de Medição

Das bracatingas foram medidas a altura total com vara telescópica graduada aos 111, 236, 365, 544 e 716 dias (aproximadamente 4, 8, 12, 18, 24 meses), o DAP com fita diamétrica aos 236, 365, 544 e 716 dias e o diâmetro da copa aos 365, 544 e 716 dias. O diâmetro da copa foi medido em cruz, ou seja, uma medida da copa no sentido da linha de plantio e outra medida perpendicular à primeira, ambas com auxílio de uma trena. O diâmetro médio da copa foi obtido por média aritmética entre as duas medidas. Foram consideradas todas as plantas da parcela, inclusive a bordadura.

A temperatura das folhas dos cafeeiros foi monitorada de 07 de julho de 2002 a 30 de setembro de 2003 com auxílio de dois coletores automáticos de dados, ambos modelo 21X marca Campbell Scientific. Uma das estações de coleta ficou numa das parcelas testemunha (T1) e foi conectada a três termopares fixados em folhas de cafeeiros expostas na parte superior da copa e na face norte, de maneira aleatória. Em abril de 2003 foi instalado nesta estação um quantômetro modelo LI190SB, igual ao descrito no experimento 1.

A outra estação de coleta ficou localizada na divisa entre duas parcelas com densidades diferentes de bracatingas (T2 e T3). Nesta estação foram instalados seis termopares, sendo três deles fixados nas folhas de cafeeiros na parcela com o tratamento T2 e os outros três na parcela contígua com o tratamento T3.

Os coletores automáticos de dados foram programados para fazer uma leitura dos sensores a cada 30 segundos e armazenar as temperaturas média, máxima e mínima a cada 15 minutos.

A estimativa da percentagem de redução da RFA nas parcelas com bracatingas em relação à parcela a pleno sol foi calculada com dados obtidos de uma bateria de quantômetros. A estação E2Q, descrita no item 3.1.2, no período entre abril e maio de 2003 foi colocada na divisa entre os dois tratamentos arborizados (T2 e T3) e os 24 sensores de RFA foram distribuídos uniformemente nas duas diagonais entre quatro árvores nas parcelas, 12 sensores em cada tratamento. As médias dos valores de fluxo total diário de RFA registrados em cada tratamento foram comparadas com os valores obtidos na parcela testemunha, de maneira a obter uma estimativa da percentagem de redução da RFA nos tratamentos arborizados em relação à testemunha.

3.2.3 Análises Estatísticas

A produção de café por hectare de cada tratamento foi analisada através de ANOVA usando o procedimento PROC ANOVA do programa estatístico SAS. Foram analisadas a produção do primeiro ano e do segundo em separado e a produção dos dois anos somadas (total do biênio). Como o tratamento T3 só foi implantado no segundo ano, a análise da produção no primeiro ano foi feita apenas para dois tratamentos. Na análise da produção bianual no tratamento T3 consideraram-se as parcelas com o tratamento T2 em 2002, mas que seriam desbastadas para compor o tratamento T3 no ano de 2003.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXPERIMENTO 1 – AVALIAÇÃO DA COMPATIBILIDADE DE QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS COM O CAFEEIRO

4.1.1 Desenvolvimento das Árvores

As médias de altura, DAP e diâmetro de copa apresentadas a seguir (fig. 5, 6 e 7) foram tomadas de 4 indivíduos por espécie, exceto para a grevílea que foi representada por 3 árvores, pois uma delas caiu em 2001 devido à ocorrência de tempestade com vento forte.

4.1.1.1 Crescimento em altura

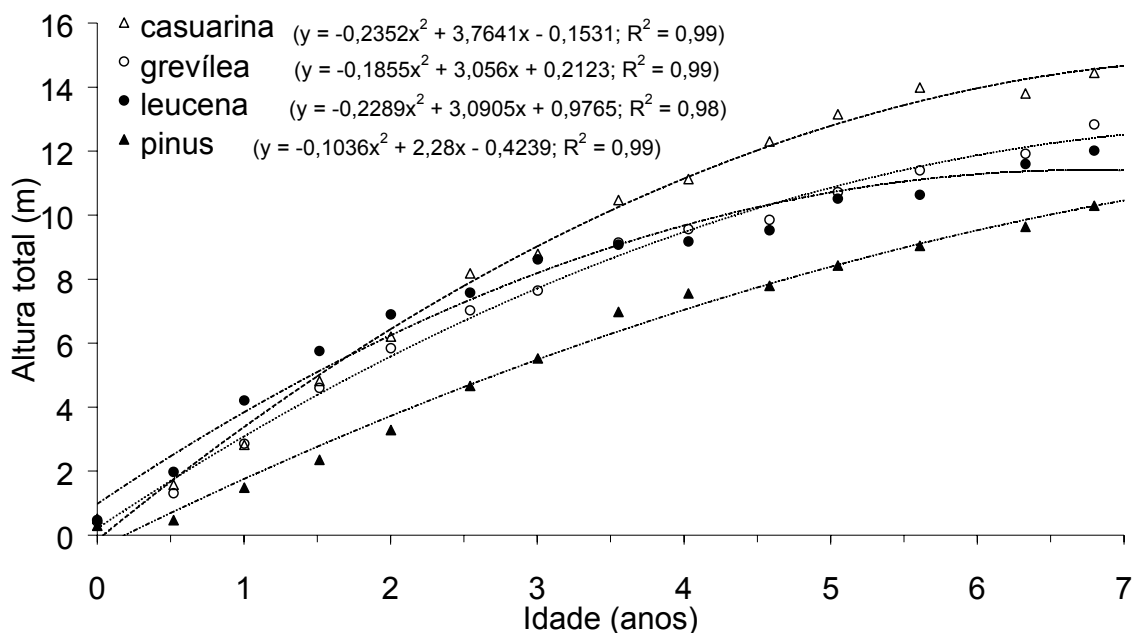
O crescimento em altura das árvores desde o plantio pode ser observado na figura 5, na qual são mostradas para cada espécie os dados de altura total média com as respectivas curvas de regressão quadrática ajustadas. Durante o período houve algumas trocas de posição entre as espécies, tendo a casuarina alcançado o primeiro lugar após o segundo ano e se mantido nessa posição até a última medição, quando atingiu a média de 14,5m.

A grevílea, que vinha em terceiro lugar, passou para o segundo posto aos 3,5 anos, posição que ocupou até os 6,5 anos com média de 12,8m. A leucena, que apresentou um crescimento inicial superior às demais espécies, perdeu posição para a casuarina aos 2,5 anos e para a grevílea após os 3 anos e, apesar de estar se

mantendo em terceiro lugar com média de 12,0m, mostrou tendência de estagnação do crescimento em altura e deve perder posição para o pinus no futuro. A casuarina e a grevílea mostram tendências semelhantes entre si, intermediárias entre a leucena, que está reduzindo a sua taxa de crescimento em altura e o pinus que revela tendência a manter a taxa de crescimento.

A última colocação ocupada pelo pinus com média de 10,3m pode ser consequência de problemas na fase inicial, pois houve um ataque de lebres por ocasião do plantio e o pinus foi a espécie mais visada, tendo sido necessário replantar as mudas e protegê-las das lebres. A proteção, feita a princípio com estacas de taquara, pode ter prejudicado o desenvolvimento por reduzir a luminosidade. As estacas de taquara foram substituídas por tela de arame e observou-se que após este procedimento o desenvolvimento das mudas de pinus melhorou sensivelmente.

FIGURA 5 - ALTURA TOTAL MÉDIA DAS ÁRVORES ATÉ OS SEIS ANOS E MEIO DE IDADE

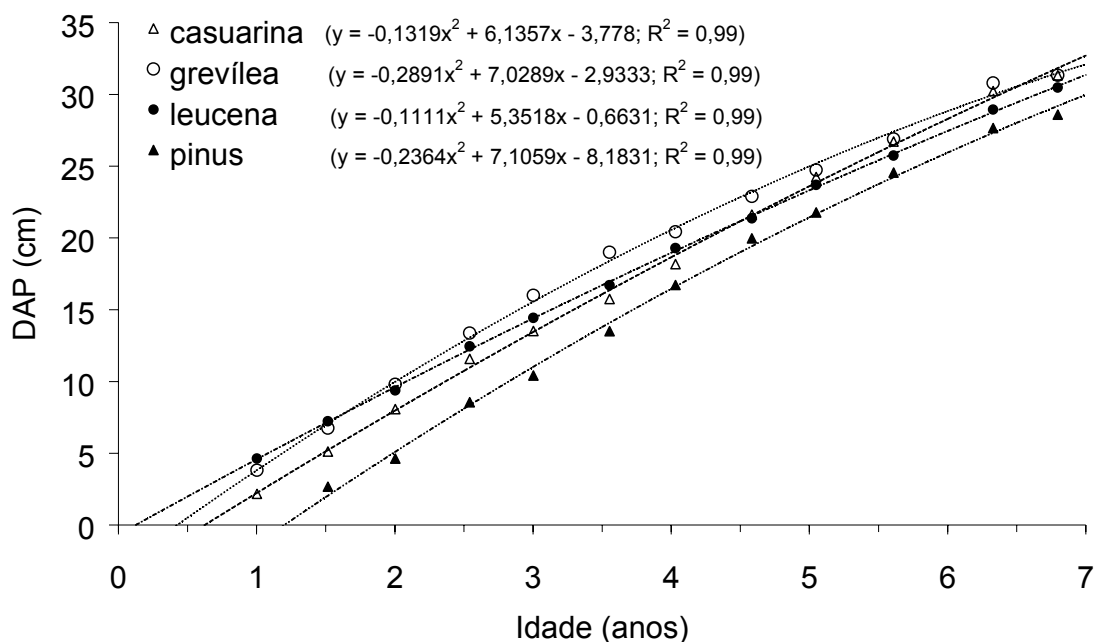


FONTE: O autor

4.1.1.2 Crescimento em diâmetro (DAP)

O crescimento diamétrico das espécies, apresentado graficamente na figura 6 com as respectivas curvas de regressão quadrática, mostra que as diferenças entre as espécies se reduziram com o passar do tempo. Na última medição, aos 6,5 anos, o pinus apresentou o menor valor, média de 28,6cm, mas devido aos problemas na fase inicial, relatados anteriormente, não se deve concluir que seu crescimento radial seja inferior às demais espécies. Como houve árvores bifurcadas de leucena e casuarina cujo DAP foi calculado pela média quadrática dos diâmetros, a comparação entre as espécies fica um pouco prejudicada. Não obstante, a grevilea apresentou DAP superior às demais desde o segundo até o sexto ano. Na última medição, aos 6,5 anos, houve empate entre a grevilea e a casuarina, com média de 31,3cm. A leucena veio em seguida com média de 30,5cm.

FIGURA 6 - DIÂMETRO MÉDIO À ALTURA DO PEITO (DAP) DAS ÁRVORES ATÉ OS SEIS ANOS E MEIO DE IDADE



FONTE: O autor

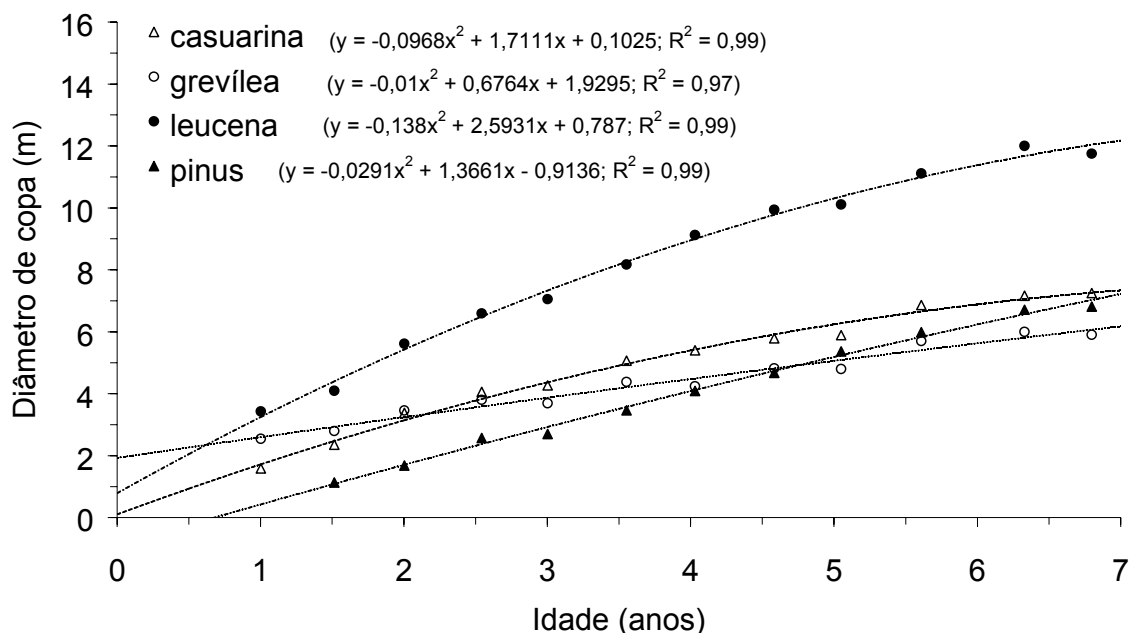
O crescimento radial das árvores pode ser considerado excelente se comparado com os obtidos em reflorestamentos com espaçamentos convencionais. Os maiores DAPs obtidos com árvores isoladas ou em espaçamentos amplos refletem a pequena ou inexistente competição entre as árvores (BAGGIO et al., 1997).

Como os espaçamentos largos utilizados para as árvores nos sistemas agroflorestais favorecem a produção de madeira para desdobro em ciclos mais curtos do que nos reflorestamentos convencionais (SOMARRIBA et al., 2001), as espécies mais adequadas para esta finalidade, como o pinus e a grevilea, apresentam vantagem econômica, pois podem alcançar melhores preços para a madeira.

4.1.1.3 Desenvolvimento do diâmetro de copa

Os dados de diâmetro médio da copa obtidos a partir do primeiro ano estão na figura 7, na qual pode-se observar que os valores são maiores para a leucena em comparação com as outras espécies. A grevilea, que ocupava a segunda posição no início da série, foi suplantada pela casuarina após o segundo ano e pelo pinus no quarto ano. As curvas de regressão quadrática mostram o pinus, que inicialmente apresentava o menor diâmetro de copa, expandindo sua copa a taxas superiores às das demais espécies e com tendência a ocupar o segundo lugar. Aos 6,5 anos a leucena estava com média de 11,8m, valor bastante superior aos 7,3m da casuarina, aos 6,8m do pinus e aos 5,9m da grevilea. A grande diferença a favor da leucena é função do seu hábito de crescimento simpodial que contrasta com o hábito monopodial das demais.

FIGURA 7 - DIÂMETRO MÉDIO DA COPA DAS ÁRVORES ATÉ OS SEIS ANOS E MEIO DE IDADE



FONTE: O autor

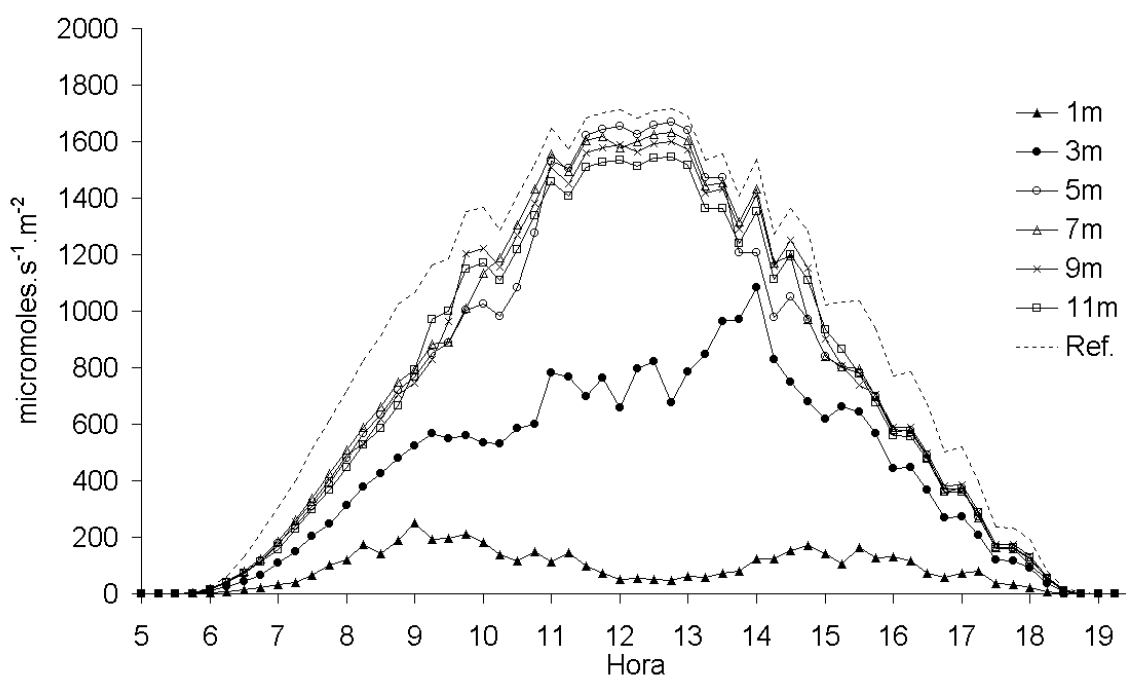
4.1.2 Caracterização da Área de Influência das Quatro Espécies Florestais Através da Atenuação do Fluxo de Radiação Fotossinteticamente Ativa

4.1.2.1 Casuarina

Os dados de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) a distâncias crescentes da casuarina do bloco D e os valores de referência medidos numa das parcelas testemunha, obtidos durante o dia 23 de outubro de 2002, são apresentados na Figura 8. O fluxo total diário de fótons fotossinteticamente ativos (FTFFA) foi obtido por integração dos valores de DFFFA. As frações do FTFFA em relação à referência estão na Figura 9, onde pode-se observar o limite da copa da árvore.

Analisando-se o gráfico da figura 8 verifica-se que a linha de 1m, situada sob a copa, se destaca por apresentar valores baixos durante o dia todo, enquanto que a linha de 3m, próxima da borda da copa, mostra uma atenuação da DFFFA intermediária entre a linha de 1m e as demais, que apresentam diferenças pequenas entre si.

FIGURA 8 - DENSIDADE DE FLUXO DE FÓTONS FOTOSSINTETICAMENTE ATIVOS INCIDENTE SOBRE AS COPAS DOS CAFFEEIROS EM DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DA **CASUARINA** EM 23 DE OUTUBRO DE 2002

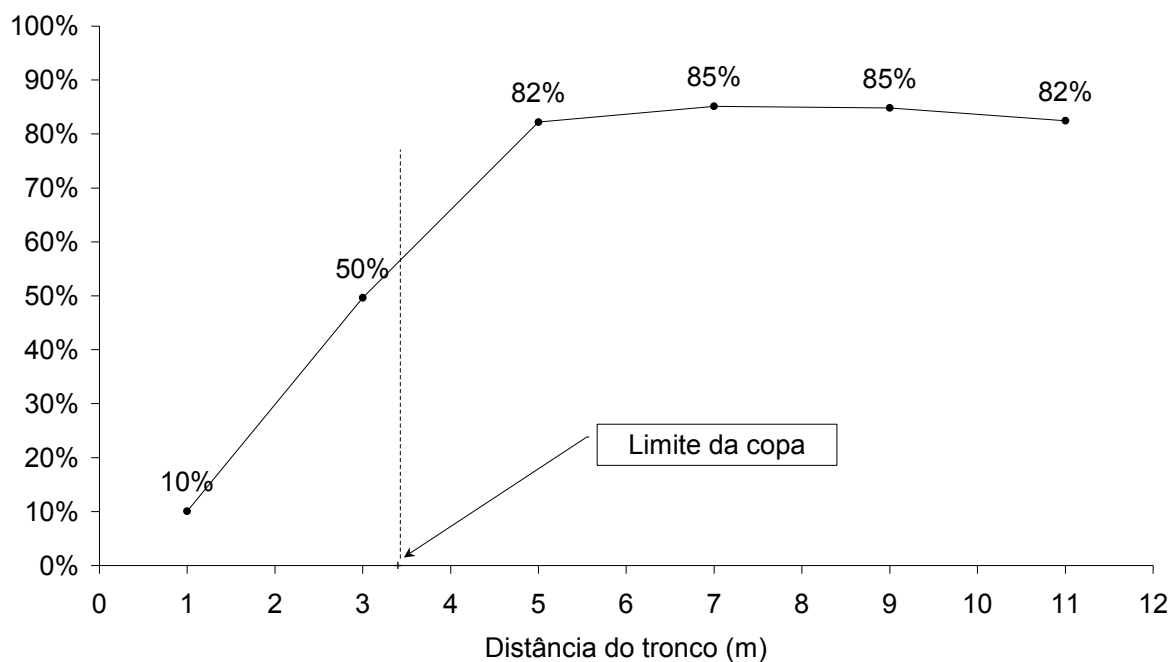


FONTE: O autor

Na figura 9 observa-se que na distância de 1 m do tronco a fração do FTFFA que chegou na copa dos cafeeiros foi de apenas 10% do total incidente a pleno sol. Na distância de 3 m, próxima do limite da copa, a redução do fluxo diário foi de 50%. Nas demais distâncias, todas fora da copa, a redução da radiação ficou na faixa de 15 a 18%, mostrando que fora do raio da copa existiu uma redução

apreciável do total de radiação solar fotossinteticamente ativa disponível durante o dia.

FIGURA 9 - FRAÇÃO DO FLUXO TOTAL DIÁRIO DE FÓTONS FOTOSSINTETICAMENTE ATIVOS INCIDENTE NAS COPAS DOS CAFEEIROS A DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DA CASUARINA EM 23 DE OUTUBRO DE 2002



FONTE: O autor

4.1.2.2 Grevílea

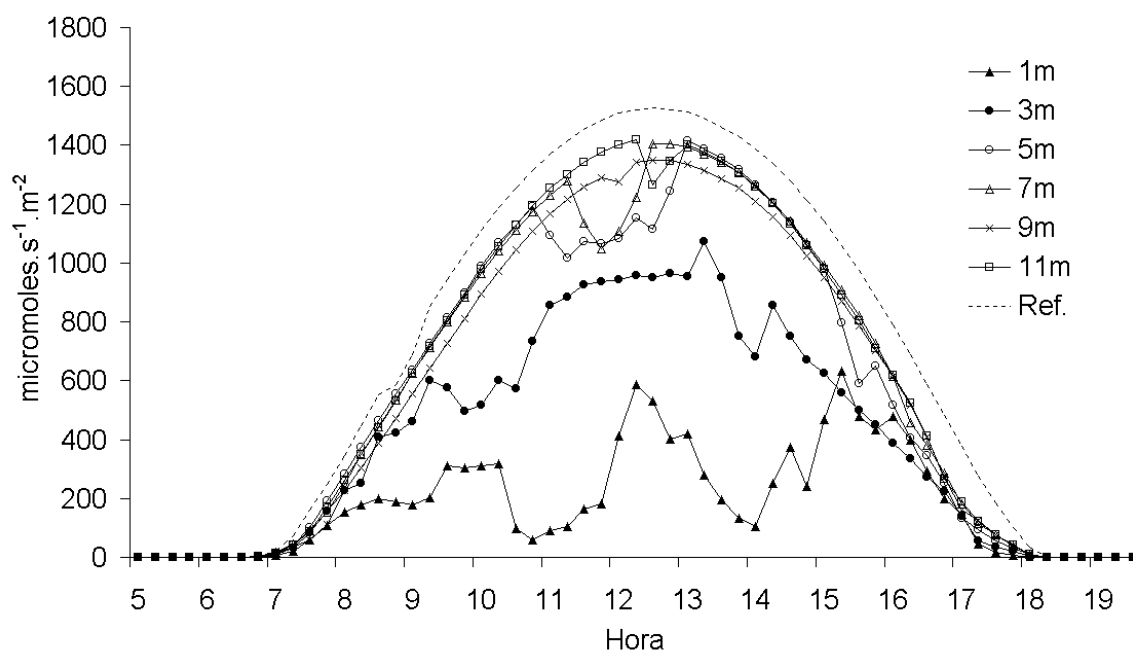
Os dados de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) nas diversas distâncias da grevílea do bloco D e os valores de referência medidos numa das parcelas testemunha, obtidos durante o dia 17 de agosto de 2003, são apresentados na figura 10. As frações do fluxo total de fótons fotossinteticamente ativos (FTFFA) em relação à referência estão na figura 11, onde pode-se observar o limite da copa da árvore.

Analisando o gráfico da figura 10 verifica-se que as linhas de 1m e de 3m se destacam das demais. Na distância de 1m a atenuação da DFFFA não foi tão

uniforme ao longo do dia como na parcela com casuarina, tendo uma oscilação muito maior (provavelmente indicando que fachos de luz atingiram os sensores com maior frequência). A linha de 3m, próxima da borda da copa, mostra um comportamento semelhante ao verificado para a casuarina.

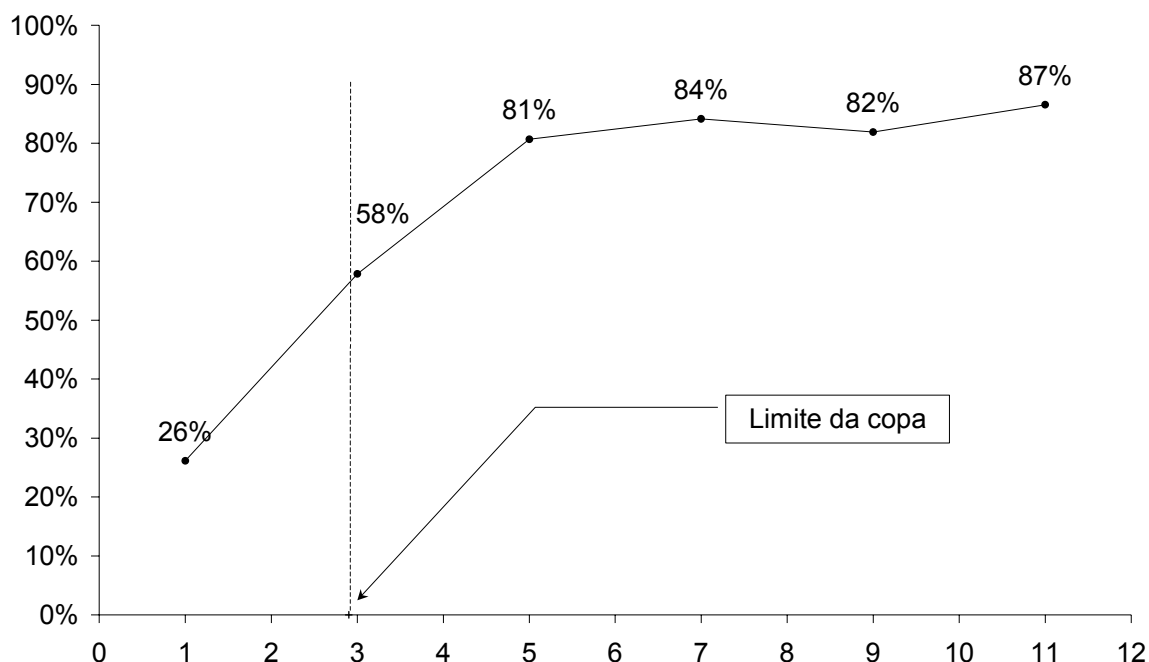
Na figura 11 observa-se que na distância de 1 m do tronco a fração do FTFFA que chegou na copa dos cafeeiros foi de 26% do total incidente a pleno sol, valor muito superior (2,6 vezes) ao encontrado para a casuarina nesta mesma distância. Aos 3 m, próximo do limite da copa, a redução do fluxo diário foi de 58%. Nas demais distâncias, todas fora da copa, a redução da radiação total diária ficou na faixa de 13 a 19%.

FIGURA 10 - DFFFA INCIDENTE SOBRE AS COPAS DOS CAFEIROS EM DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DA **GREVÍLEA** EM 17 DE AGOSTO DE 2003



FONTE: O autor

FIGURA 11 - FRAÇÃO DO FTFFA INCIDENTE NAS COPAS DOS CAFEEIROS A DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DA **GREVÍLEA** EM 17 DE AGOSTO DE 2003



FONTE: O autor

4.1.2.3 Leucena

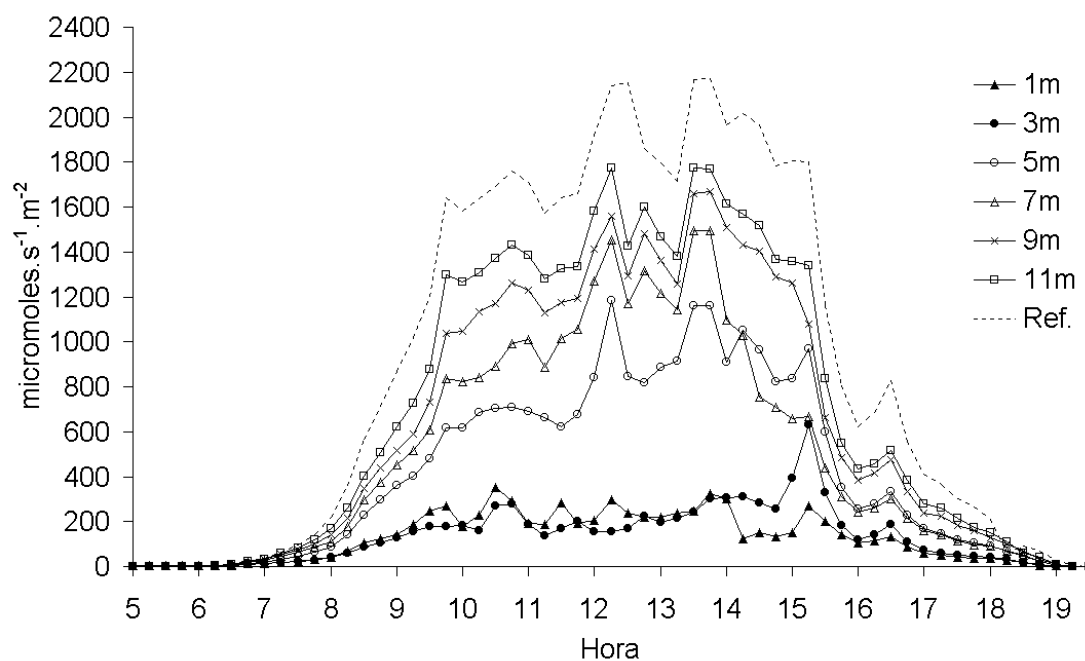
Os dados de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos nas diversas distâncias da leucena do bloco B e os valores de referência medidos numa das parcelas testemunha, obtidos durante o dia 8 de fevereiro de 2003, são apresentados na figura 12. As frações do fluxo total de fótons fotossinteticamente ativos em relação à referência estão na figura 13, onde pode-se observar o limite da copa da árvore.

Observando o gráfico da figura 12 verifica-se que as linhas de 1 e 3m se confundem enquanto que as demais linhas se diferenciam de maneira progressiva, ou seja, quanto mais se distanciam da árvore maior a quantidade de radiação que recebem, comportamento diferente do observado nas outras espécies.

Na figura 13 observa-se que na distância de 1m do tronco a fração do

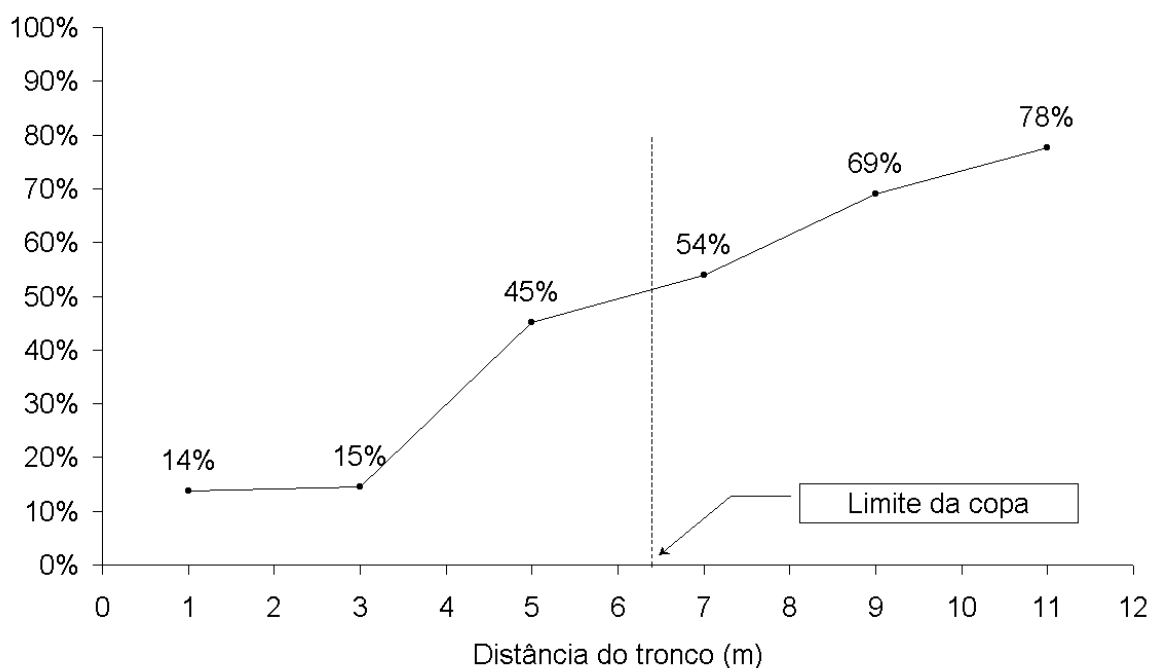
FTFFA que chegou na copa dos cafeeiros foi de 14% do total incidente a pleno sol, semelhante ao valor de 15% registrado na distância de 3 m. Na distância de 5 m, próxima do limite da copa, o total diário recebido foi de 45% do FTFFA a pleno sol. Nas demais distâncias, todas fora da copa, a redução do FTFFA fica na faixa de 46 a 22%, bastante ampla se comparada com as demais espécies.

FIGURA 12 - DENSIDADE DE FLUXO DE RFA INCIDENTE SOBRE AS COPAS DOS CAFEEIROS EM DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DA LEUCENA EM 08 DE FEVEREIRO DE 2003



FONTE: O autor

FIGURA 13 - FRAÇÃO DO FLUXO TOTAL DIÁRIO DE RFA INCIDENTE NAS COPAS DOS CAFEEIROS A DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DA LEUCENA EM 8 DE FEVEREIRO DE 2003



FONTE: O autor

4.1.2.4 Pinus

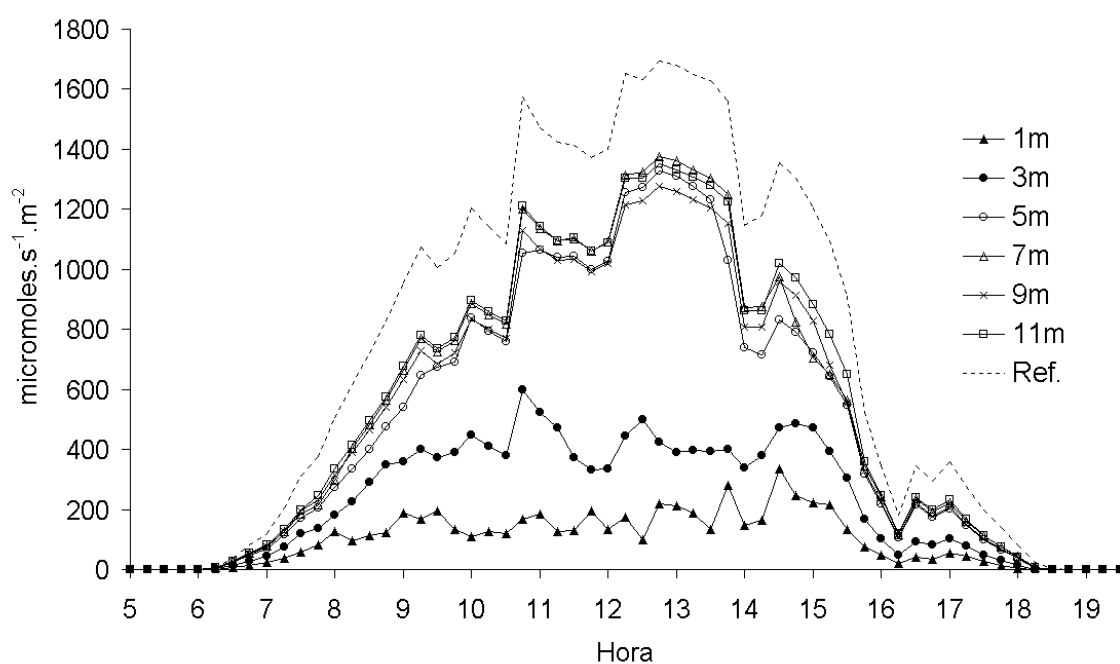
Os dados de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos nas diversas distâncias do pinus do bloco A e os valores de referência medidos numa das parcelas testemunha, obtidos durante o dia 25 de setembro de 2003, são apresentados na figura 14. As frações do fluxo total de fótons fotossinteticamente ativos em relação à referência estão na figura 15, onde pode-se observar o limite da copa da árvore.

Analisando o gráfico da figura 14 verifica-se que a linha de 1m, situada sob a copa, se destacou por apresentar valores baixos durante o dia todo enquanto que a linha de 3m, próxima da borda da copa, mostrou uma atenuação da DFFFA menor do que a linha de 1m embora bastante superior às demais, que apresentaram

diferenças pequenas entre si.

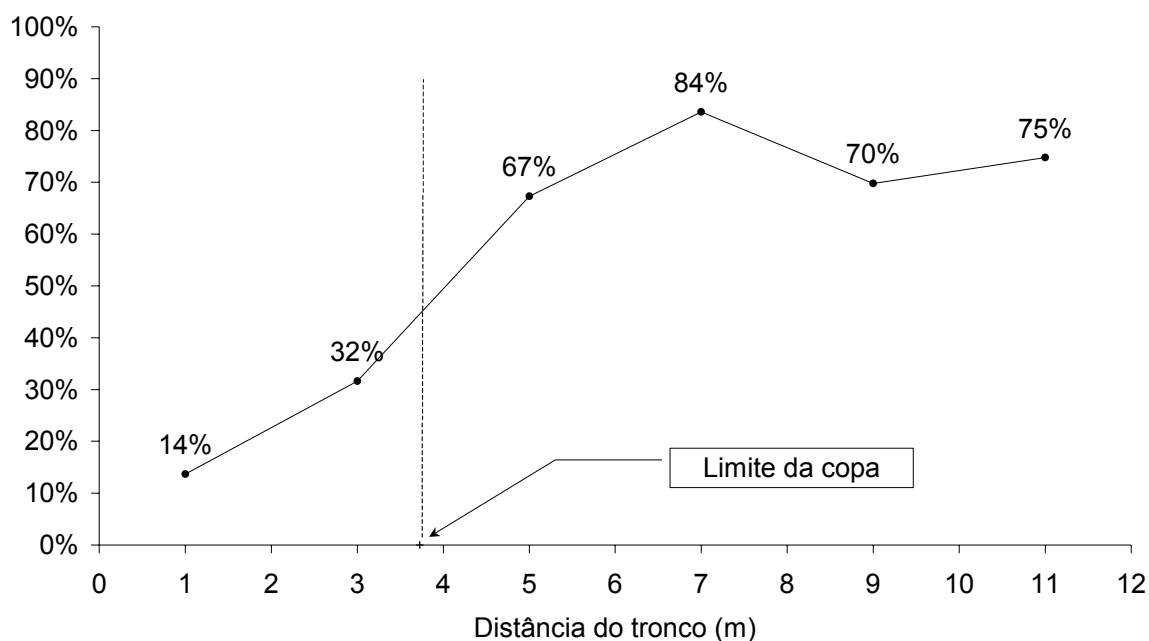
Na figura 15 observa-se que na distância de 1 m do tronco a fração do FTFFA que chegou na copa dos cafeeiros foi de 14% do total incidente a pleno sol. Na distância de 3 m, próxima do limite da copa, esse valor foi de 32%. Nas demais distâncias, todas fora da copa, a redução da radiação total diária ficou na faixa de 16 a 33%.

FIGURA 14 - DENSIDADE DE FLUXO DE RFA INCIDENTE SOBRE AS COPAS DOS CAFFEEIROS EM DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DO PINUS EM 25 DE SETEMBRO DE 2003



FONTE: O autor

FIGURA 15 - FRAÇÃO DO FLUXO TOTAL DIÁRIO DE RFA INCIDENTE NAS COPAS DOS CAFEEIROS A DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DO TRONCO DO PINUS EM 25 DE SETEMBRO DE 2003

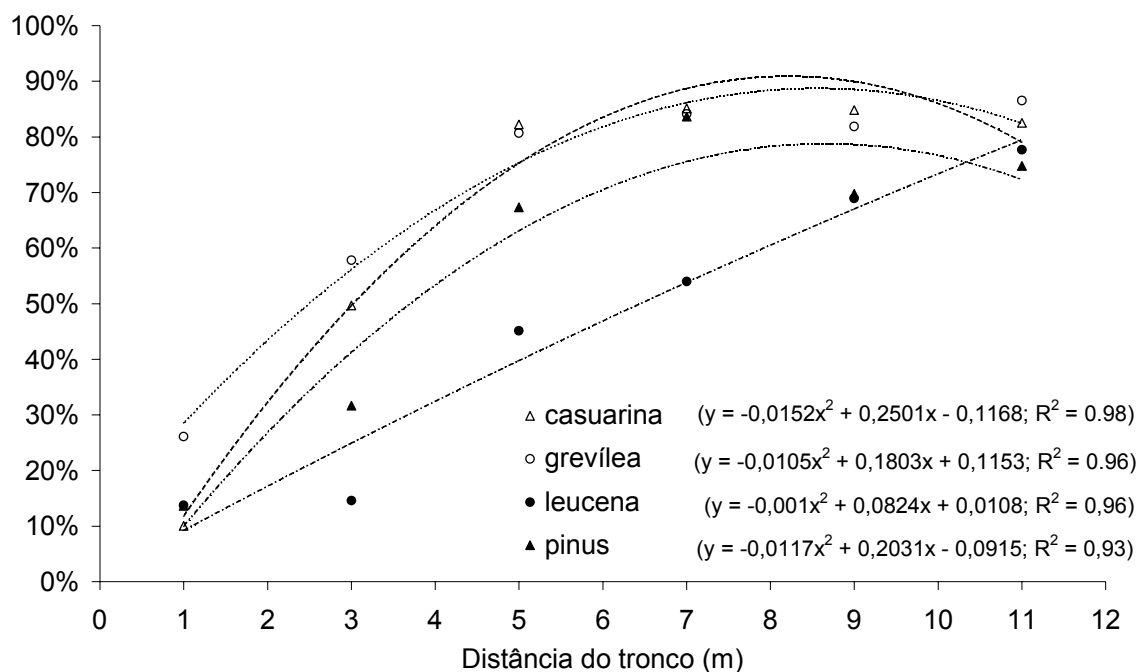


FONTE: O autor

4.1.2.5 Comparação entre as espécies

Na figura 16 são mostrados os dados da fração de FTFFA de todas as espécies com as linhas de regressão quadrática ajustadas para cada uma individualmente. Observa-se que a leucena mostrou uma forte tendência linear, diferente das demais, cujas linhas mostraram um máximo em torno dos 8 m de distância do tronco. Verifica-se que o percentual de radiação incidente aumentou após o limite da copa em todas as espécies, mas a estabilização dos valores com o aumento da distância, observado nas espécies monopodiais, não aconteceu na leucena até a distância de 11m, mostrando que a sua área de influência quanto à interceptação da radiação solar se estendeu a distâncias superiores às demais.

FIGURA 16 - LINHAS DE REGRESSÃO QUADRÁTICA DA FRAÇÃO DO FTFFA INCIDENTE SOBRE AS COPAS DOS CAFFEEIROS A DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS 4 ESPÉCIES ARBÓREAS



FONTE: O autor

Sob a copa, na distância de 1m, o FTFFA registrado variou de 10% para a casuarina até um máximo de 26% para a grevílea, com a leucena e o pinus apresentando o valor intermediário de 14%. A grevílea se diferenciou das demais pelo menor coeficiente de atenuação da radiação, caracterizando uma copa clara com baixa interceptação da RFA incidente.

A redução da RFA fora da copa, causada pelo caminhamento da sombra da árvore ao longo do dia, depende de características da copa como tamanho (altura e largura), coeficiente de atenuação da radiação e de reflexão (albedo), sendo ainda influenciada pela época do ano e respectiva declinação solar. Com o aumento da distância da árvore esta redução tende a ser nula; entretanto, no limite de 11 m considerado ainda se observou uma redução acima de 10% em todos os tratamentos.

Nos pontos fora da copa a casuarina e a grevilea mostraram uma redução do total diário de RFA inferior à do pinus e à da leucena. O pinus mostrou maior variabilidade na atenuação da RFA nas posições fora da copa, enquanto a leucena registrou uma atenuação mais progressiva e uniforme.

A espécie que apresentou a maior área de influência (AI) em relação à este parâmetro foi a leucena, devido tanto ao seu maior diâmetro de copa quanto à tendência linear de redução da fração do FTFFA. A menor área de influência foi a da grevilea, seguida pela casuarina. Entre as espécies de hábito monopodial o pinus mostrou a maior área de influência .

Por esse critério, redução da irradiância fotossinteticamente ativa, verificou-se que a área de influência de uma árvore isolada se estendeu além da copa.

4.1.3 Caracterização da Área de Influência (AI) das Quatro Espécies Florestais por Meio da Temperatura das Folhas dos Cafeeiros

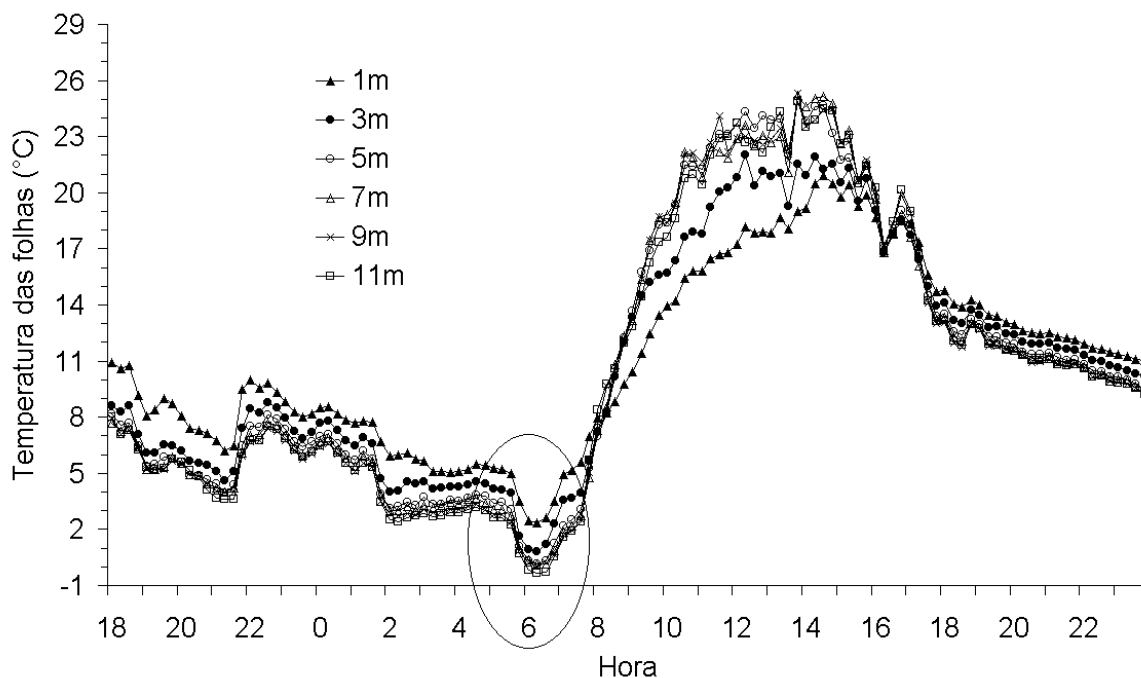
4.1.3.1 Casuarina

As médias das temperaturas mínimas das folhas dos cafeeiros nas diversas distâncias do tronco da árvore, na parcela com casuarina do bloco D, medidas das 18:00 horas do dia 12 até as 23:45 horas do dia 13 de julho de 2003 estão na figura 17. Pode-se observar no gráfico que as linhas de 1 e 3m, ambas situadas sob a copa da árvore (raio médio da copa = 3,8m), se destacam das demais, que se confundem entre si. Verificou-se que as linhas de 1 e 3m apresentaram temperaturas mais altas durante a noite e mais baixas durante o dia do que as linhas situadas fora da copa.

Na figura 18 estão em detalhe os dados do período das 5:00 às 7:30 horas com as respectivas barras de erro padrão das médias (EP). A linha de 1m se destacou por apresentar valores muito pequenos de EP e a linha de 3m, apesar dos

valores mais altos de EP, ainda se diferenciou das demais que não diferiram entre si.

FIGURA 17 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM **CASUARINA**, DAS 18:00 HORAS DO DIA 12 ÀS 23:45 HORAS DO DIA 13 DE JULHO DE 2003

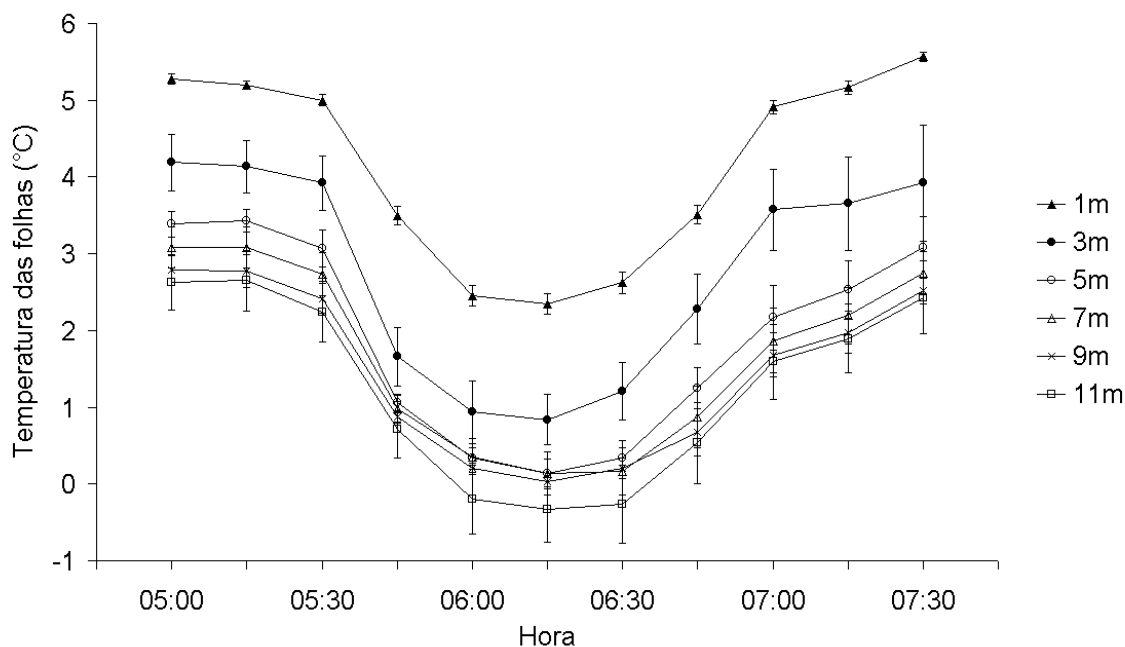


FONTE: O autor

Às 6:15 horas desse dia foi registrada a temperatura mínima de $-0,33^{\circ}\text{C}$ na distância de 11m, a menor do dia. Naquele momento a temperatura das folhas na distância de 1m, a mais protegida, ficou em $2,35^{\circ}\text{C}$, uma diferença de $2,68^{\circ}\text{C}$. Na distância de 3m a diferença foi de $1,17^{\circ}\text{C}$. As diferenças entre a distância de 11m e as de 5, 7 e 9m foram, $0,47^{\circ}\text{C}$, $0,47^{\circ}\text{C}$ e $0,35^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Verificou-se, pois, uma redução progressiva do efeito da árvore na temperatura das folhas do cafeeiro com o aumento da distância da árvore.

O dia 26 de setembro de 2002 foi selecionado para analisar o efeito da proteção durante as horas mais quentes do dia. As médias das temperaturas máximas das 11:30 às 14:00 horas, as mais elevadas daquele dia, estão na figura 19. Naquela época a árvore estava com raio de copa de 3,4m.

FIGURA 18 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM **CASUARINA** NAS HORAS MAIS FRIAS DO DIA 13 DE JULHO DE 2003



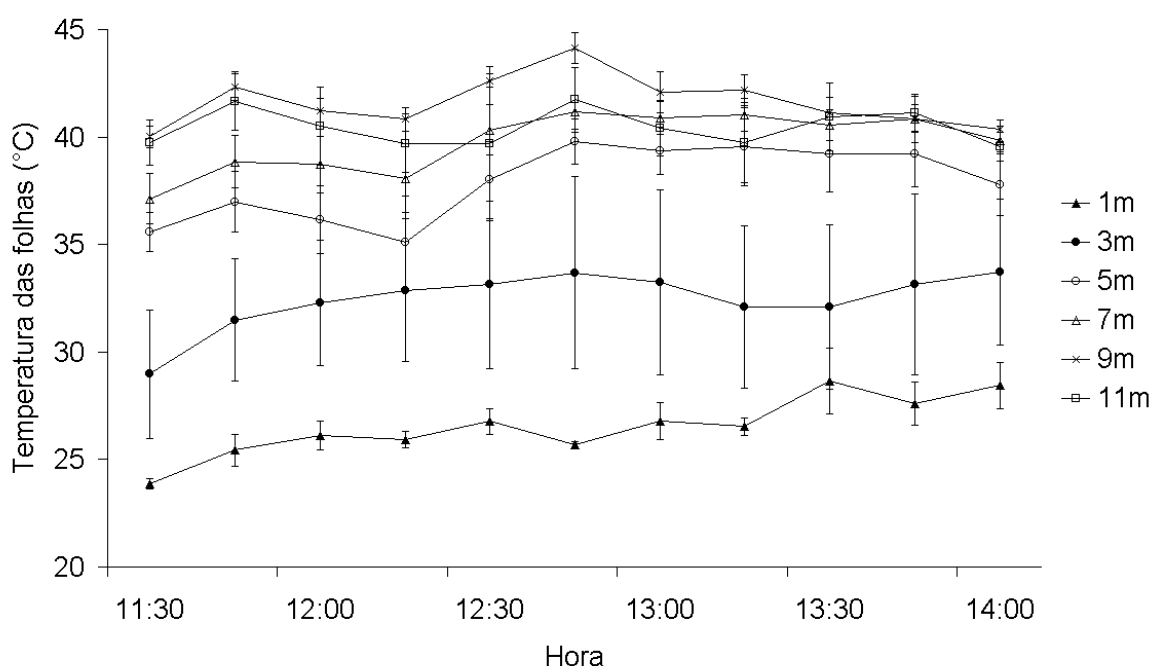
FONTE: O autor

Semelhante ao observado nas horas mais frias as linhas de 1 e 3m se destacaram das demais, mostrando que a proteção da copa exerceu um efeito mais pronunciado na distância de 1m e menos efetivo próximo da borda da copa (a 3m). As barras de EP tiveram comportamento semelhante ao observado nas horas mais frias, ou seja, sob a copa a variação foi muito menor do que fora. A linha de 3m apresentou valores de EP maiores do que as demais, o que significa que nas proximidades da borda da copa a variação foi maior do que nas demais posições.

Em função de erro experimental causado pelo mal posicionamento de um dos sensores, a distância de 9m registrou média de temperatura mais alta do que a distância de 11m e, por isso, utilizou-se a distância de 9m para comparação. As diferenças de temperatura entre a posição de 9m e as demais foram muito maiores do que as verificadas nas horas mais frias. A diferença de temperatura entre essa

distância e a de 1m atingiu 18,46°C às 12:45, quando foi registrada a maior temperatura do dia. Nas distâncias de 3, 5 e 7m as diferenças foram, respectivamente, de 10,45°C, 4,34°C e 2,97°C.

FIGURA 19 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM **CASUARINA** NAS HORAS MAIS QUENTES DO DIA 26 DE SETEMBRO DE 2002



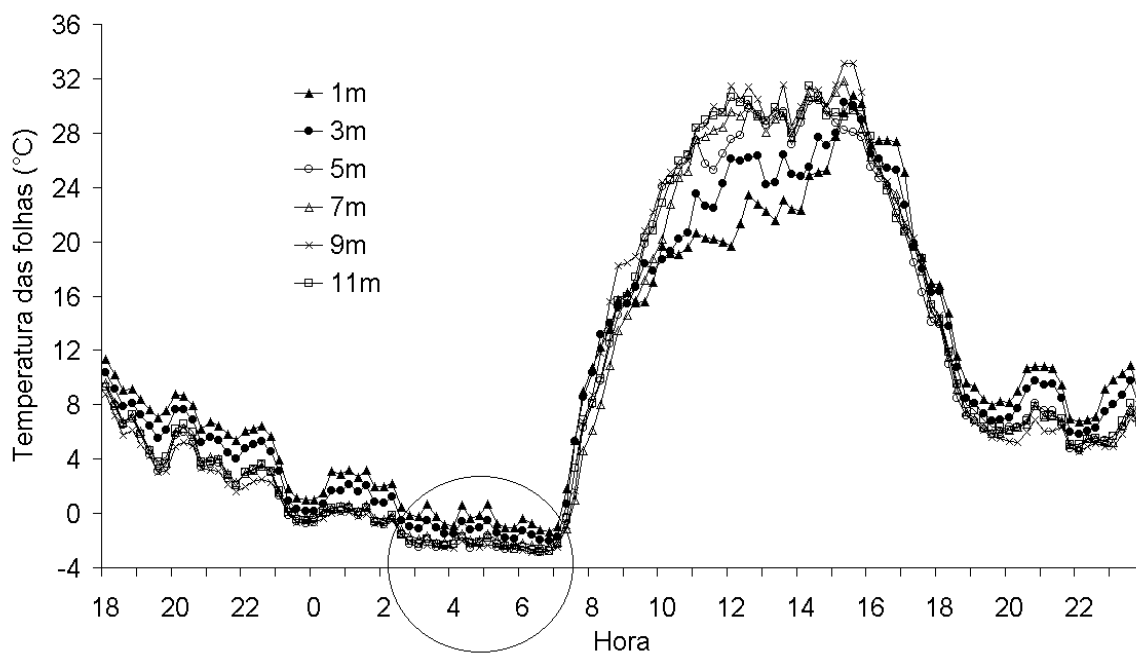
FONTE: O autor

4.1.3.2 Grevílea

As médias das temperaturas mínimas das folhas dos cafeeiros nas diversas distâncias do tronco da árvore na parcela com grevílea do bloco D, medidas das 18:00 horas do dia 2 até as 23:45 horas do dia 3 de setembro de 2002, estão na figura 20. A madrugada do dia 3 foi uma das mais frias no período em que foram feitas as medições na parcela com grevílea. No gráfico pode-se observar que apenas as linhas sob a copa da árvore (raio médio da copa = 3,2m) se destacaram

das demais.

FIGURA 20 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM **GREVÍLEA**, DAS 18:00 HORAS DO DIA 2 ÀS 23:45 HORAS DO DIA 3 DE SETEMBRO DE 2002



FONTE: O autor

Na figura 21 estão os dados de temperatura das folhas no período das 5:00 até as 7:15 horas com as respectivas barras de erro padrão da média (EP). As linhas de 1m e de 3m apresentaram valores de EP baixos, se diferenciando entre si e das demais linhas que não diferiram entre si.

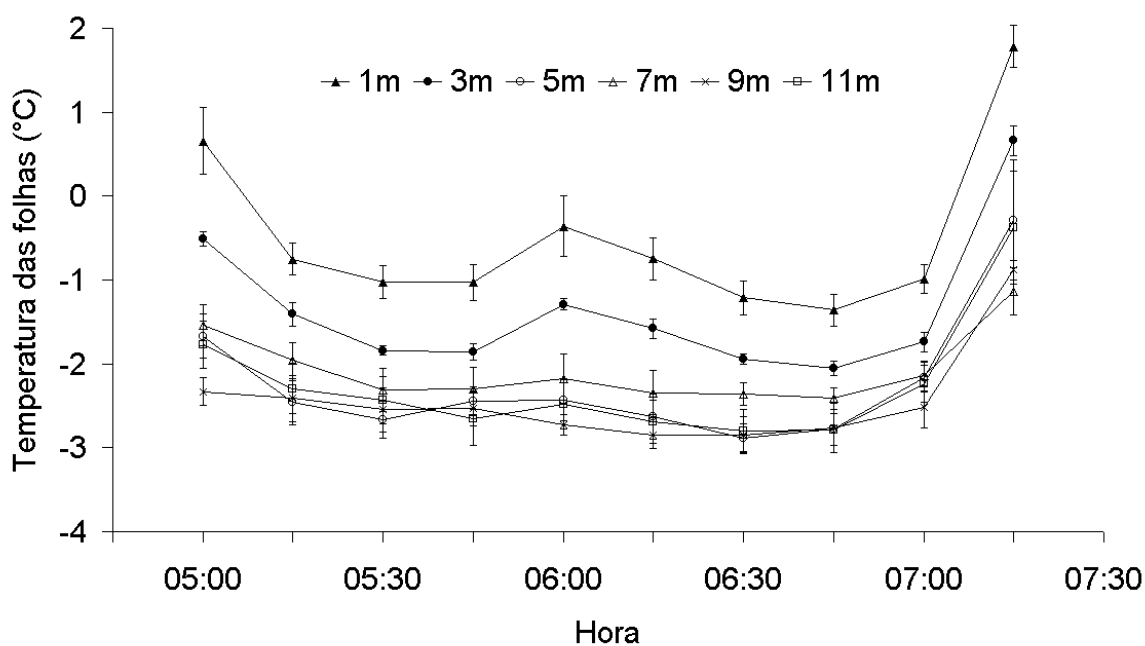
Às 6:45 horas a temperatura na distância de 11m foi de $-2,78^{\circ}\text{C}$. A diferença entre esta e as demais linhas foi de $1,42^{\circ}\text{C}$, $0,73^{\circ}\text{C}$, $0,0^{\circ}\text{C}$, $0,37^{\circ}\text{C}$ e $0,02^{\circ}\text{C}$, respectivamente para as distâncias de 1, 3, 5, 7 e 9m.

O dia 24 de novembro de 2002 foi escolhido para analisar o efeito de proteção durante as horas mais quentes. As médias das temperaturas máximas das folhas dos cafeeiros das 11:30 às 14:00 horas, com respectivos EPs, são

apresentadas na figura 22.

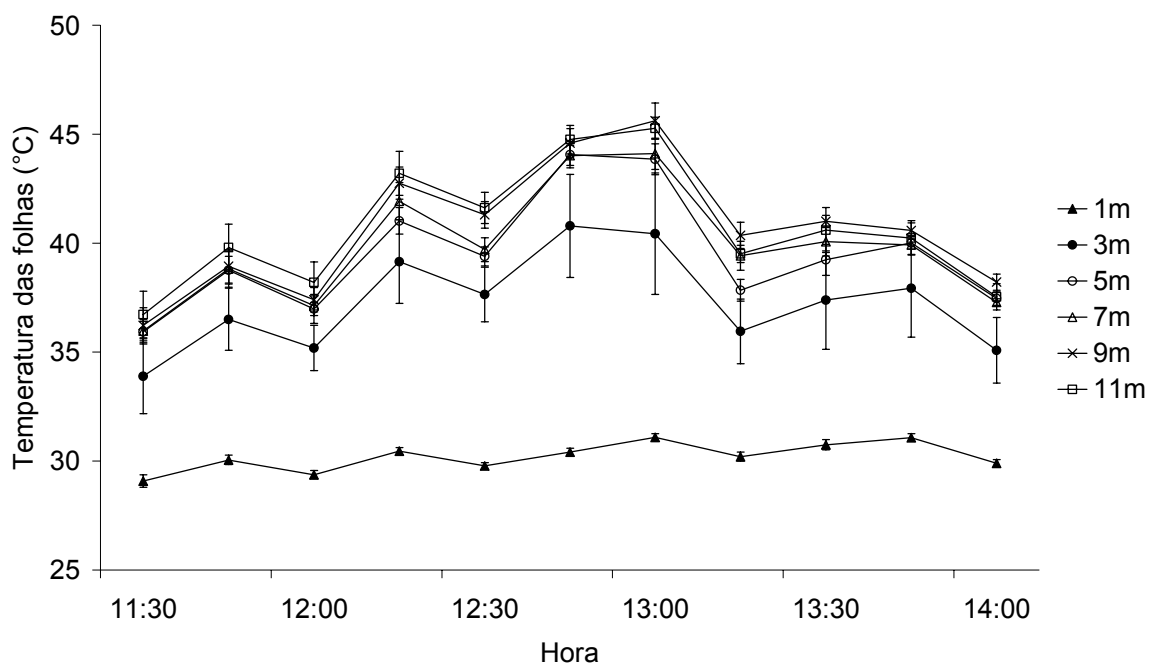
A linha de 1m se destacou de todas as demais, tanto pelos baixos valores como pelos reduzidos EP. As demais linhas se confundem na maioria dos pontos embora a linha de 3m se destaque ligeiramente das demais. A maior diferença encontrada foi de $14,35^{\circ}\text{C}$ entre a linha de 1m e a de 11m às 12:45 horas. Nessa hora a diferença entre a linha de 11m e a de 3m foi de $3,96^{\circ}\text{C}$. Entre a de 11m e as de 5, 7 e 9m as diferenças foram de $0,70^{\circ}\text{C}$, $0,73^{\circ}\text{C}$ e $0,16^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Naquela época o raio médio da copa estava em torno de 3,2m.

FIGURA 21 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM **GREVÍLEA** NAS HORAS MAIS FRIAS DO DIA 3 DE SETEMBRO DE 2002



FONTE: O autor

FIGURA 22 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM **GREVÍLEA** NAS HORAS MAIS QUENTES DO DIA 24 DE NOVEMBRO DE 2002

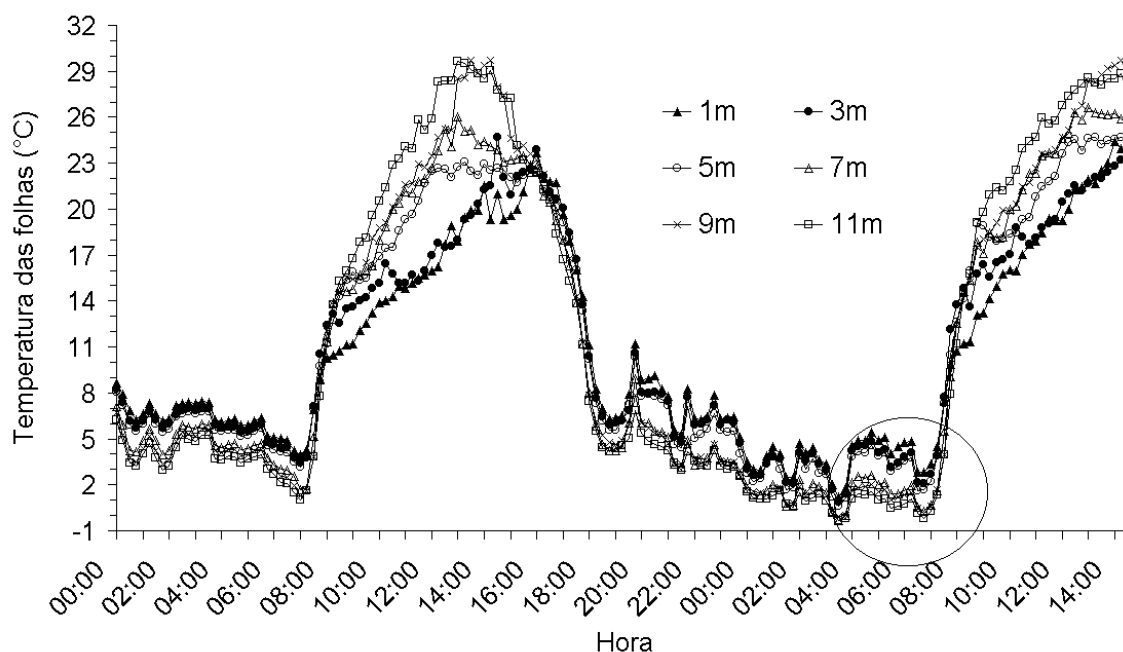


FONTE: O autor

4.1.3.3 Leucena

As médias das temperaturas mínimas das folhas dos cafeeiros nas diversas distâncias do tronco da árvore, na parcela com leucena do bloco B, medidas das 00:00 horas do dia 17 até as 14:45 horas do dia 18 de agosto de 2003 estão na figura 23. A madrugada do dia 18 foi uma das mais frias no período em que foram feitas as medições na parcela com leucena. Observou-se durante o período noturno que as linhas se separaram em dois grupos: as de 1, 3 e 5m, sob a copa (raio médio da copa = 6,45m), apresentaram temperaturas mais altas e as de 7, 9 e 11m, fora da copa, temperaturas mais baixas. Durante o dia as linhas de 1 e 3m se confundiram, mostrando temperaturas mais amenas em relação às demais.

FIGURA 23 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEIEIROS NA PARCELA COM **LEUCENA**, DAS 00:00 HORA DO DIA 17 ÀS 14:45 HORAS DO DIA 18 DE AGOSTO DE 2003



FONTE: O autor

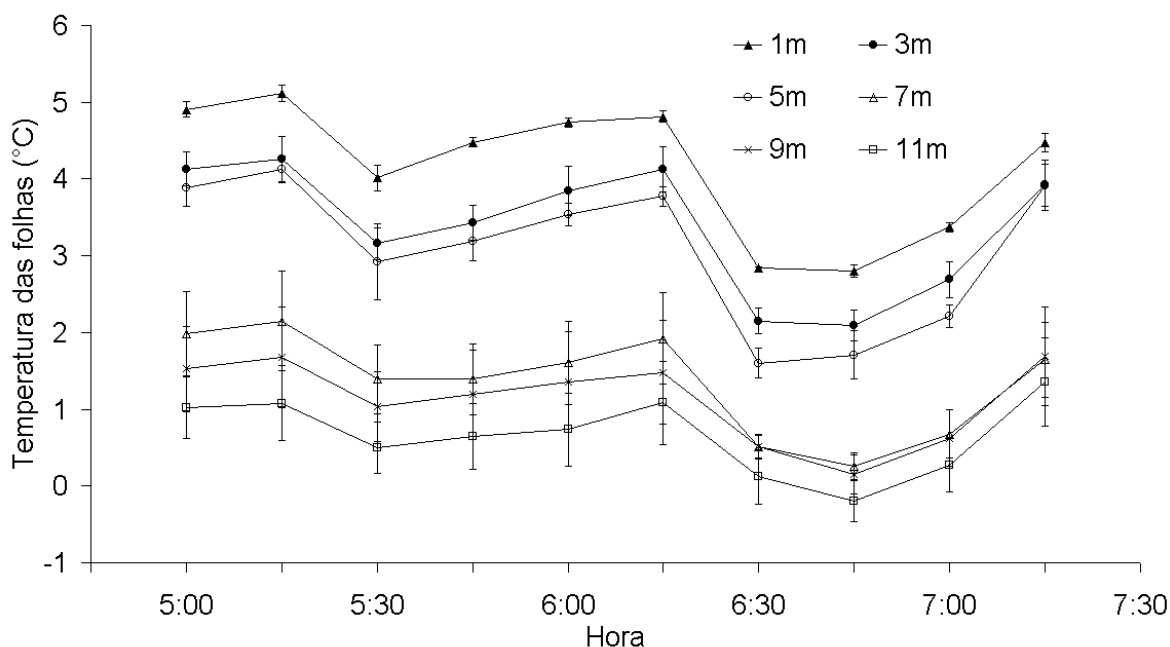
Na figura 24 estão em detalhe as médias das temperaturas mínimas das folhas durante as horas mais frias daquele dia, com as respectivas barras de erro padrão da média (EP). A linha de 1m se destacou das demais com temperaturas mais altas e EP pequenos. As linhas de 3 e 5 não se diferenciaram entre si, bem como as 3 linhas mais externas à copa, mas estas mostraram uma progressiva diminuição da temperatura com a distância.

A temperatura mínima registrada naquele dia foi de $-0,19^{\circ}\text{C}$ às 6:45 horas na distância de 11m. As diferenças entre essa linha e as demais foi de $2,99^{\circ}\text{C}$, $2,28^{\circ}\text{C}$, $1,90^{\circ}\text{C}$, $0,44^{\circ}\text{C}$, $0,34^{\circ}\text{C}$, respectivamente, para as distâncias de 1, 3, 5, 7 e 9m. As linhas sob a copa registraram diferenças acima de 2°C , enquanto as fora da copa diferenças de menos de $0,5^{\circ}\text{C}$.

O dia 8 de janeiro de 2003 foi escolhido para verificar o efeito da árvore nas horas mais quentes. As médias das temperaturas máximas das folhas dos cafeeiros das 12:00 às 14:30 horas com respectivos valores de erro padrão da média (EP) são apresentadas na figura 25.

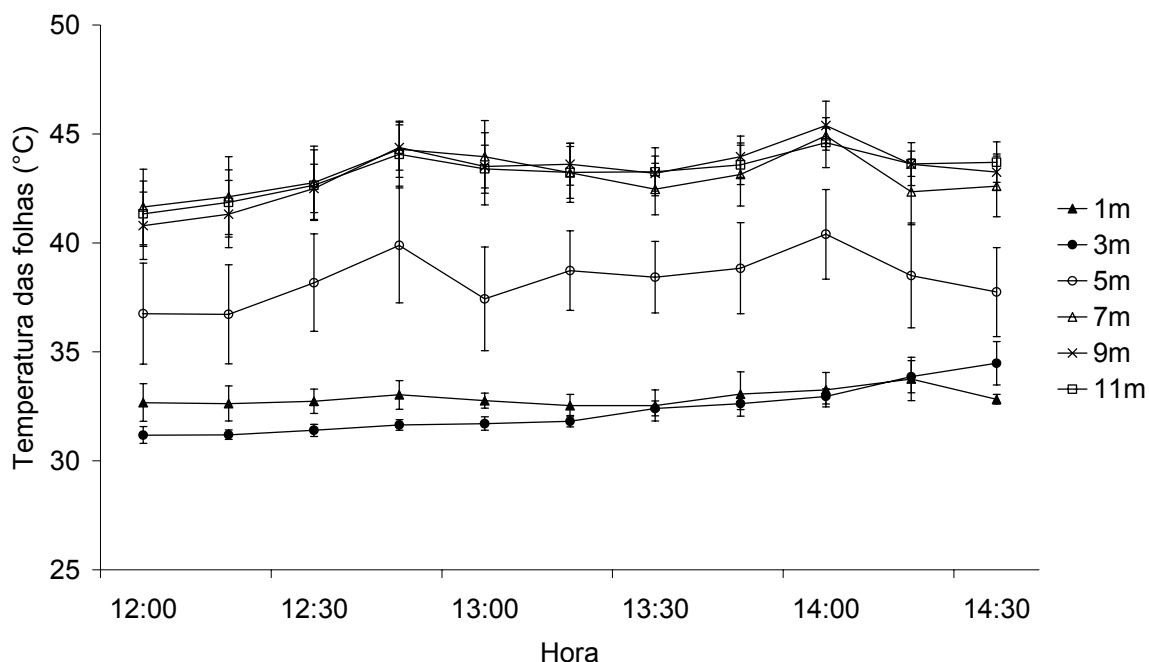
As linhas de 1 e 3m apresentaram diferenças relativamente pequenas entre si, de no máximo cerca de $1,50^{\circ}\text{C}$. Essas duas linhas situadas sob a copa da árvore (diâmetro de copa = $6,38\text{m}$) se diferenciaram das demais. A linha de 5m, mais próxima da borda da copa e com altos EP, se destacou e ficou numa posição intermediária entre as duas primeiras e as linhas de 7, 9 e 11m. A diferença entre a linha de 11m e a de 1m foi de $10,73^{\circ}\text{C}$ às 13:30 horas. Nessa hora as diferenças entre aquela e as de 3, 5, e 7m foram, respectivamente, de $10,86^{\circ}\text{C}$, $4,84^{\circ}\text{C}$, $0,80^{\circ}\text{C}$ e $0,08^{\circ}\text{C}$.

FIGURA 24 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM **LEUCENA** NAS HORAS MAIS FRIAS DO DIA 18 DE AGOSTO DE 2003



FONTE: O autor

FIGURA 25 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM **LEUCENA** NAS HORAS MAIS QUENTES DO DIA 8 DE JANEIRO DE 2003



FONTE: O autor

4.1.3.4 Pinus

As médias das temperaturas mínimas das folhas dos cafeeiros nas diversas distâncias do tronco da árvore, na parcela com pinus do bloco A, medidas das 18:00 horas do dia 8 até as 23:45 horas do dia 9 de julho de 2002 estão na figura 26. A madrugada do dia 9 foi selecionada por ter sido uma das mais frias no período em que foram feitas as medições na parcela com pinus. A figura 26 mostra que durante as horas mais frias as linhas de 1 e 3m, situadas sob a copa (raio médio da copa = 3,24m), se destacaram das demais. Além dessas duas linhas, a de 5m também se destacou durante as horas mais quentes daquele dia.

As médias das temperaturas mínimas das folhas durante as horas mais frias daquele dia com as respectivas barras de erro padrão da média estão na figura

27. As temperaturas das linhas de 1 e 3m se diferenciaram das demais e entre si, apresentando baixos valores de EP. As demais linhas não se diferenciaram entre si, exceto pela linha de 5m que, em alguns registros com baixo EP, ficou numa posição intermediária se diferenciando das duas linhas sob a copa e das três linhas mais externas.

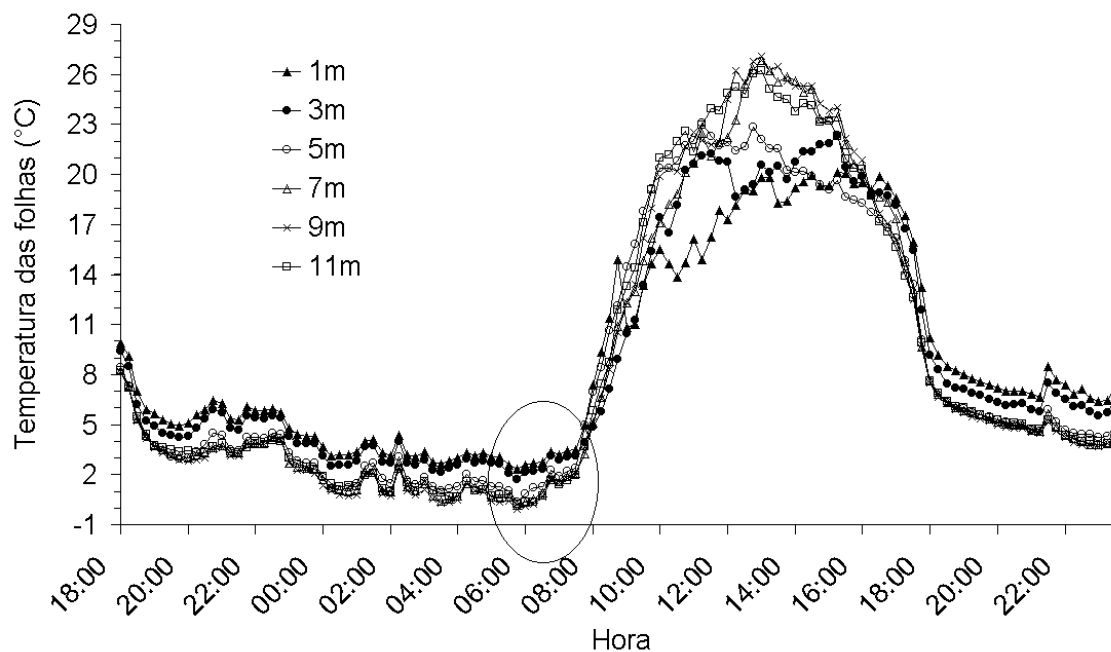
A menor temperatura registrada no período foi de $-0,08^{\circ}\text{C}$ às 5:45 horas na distância de 9m. A diferença nessa hora entre a menor temperatura e a registrada a 1m foi de $2,39^{\circ}\text{C}$. Para as linhas de 3 a 7m essa diferença foi de $1,78^{\circ}\text{C}$, $0,43^{\circ}\text{C}$ e $0,27^{\circ}\text{C}$, respectivamente.

O dia 23 de setembro de 2003 foi selecionado para analisar o efeito da árvore nas horas mais quentes. As médias das temperaturas máximas das folhas dos cafeeiros, com respectivos erro padrão da média (EP), das 12:00 às 14:30 horas são apresentados na figura 28. As linhas mais externas, localizadas a 7, 9 e 11m, se confundiram entre si enquanto as linhas de 1, 3 e 5m se destacaram daquelas linhas e entre si. O raio médio da copa nesta época era de aproximadamente 3,70m. A linha de 5m apesar de situada fora da copa mostrou que ainda estava sob influência da árvore.

As diferenças entre a linha de 9m e as de 1, 3, 5 e 7m às 12:45 hs foram de $9,20^{\circ}\text{C}$, $5,94^{\circ}\text{C}$, $2,09^{\circ}\text{C}$ e $0,01^{\circ}\text{C}$. Nessa hora a temperatura aos 9m alcançou $44,15^{\circ}\text{C}$.

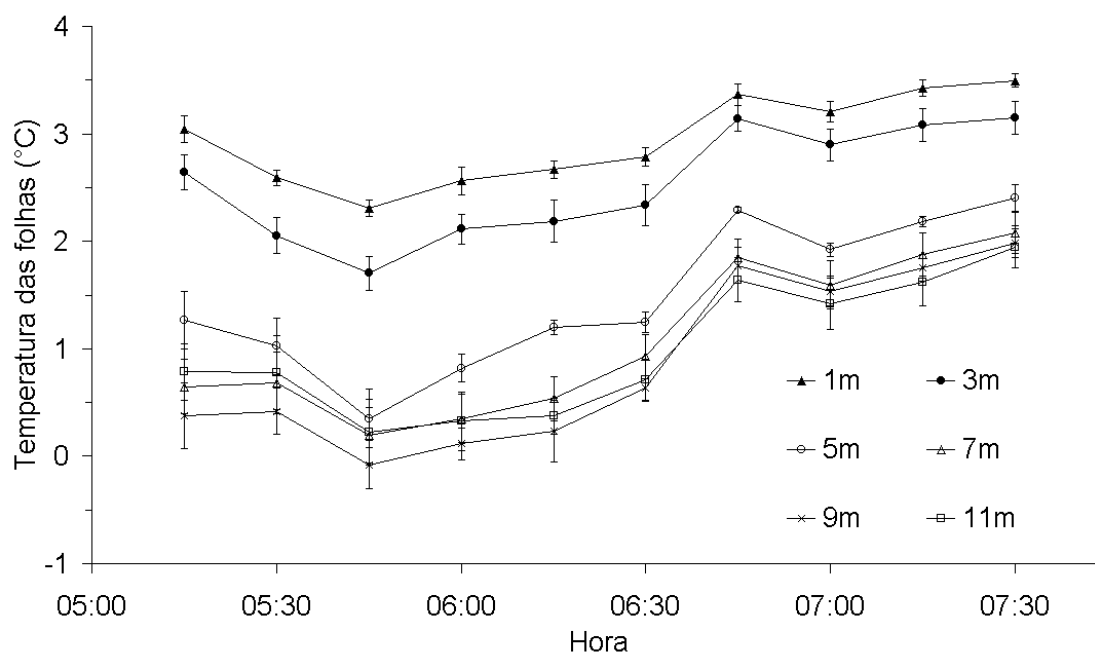
De maneira geral, considerando todas as espécies arbóreas, as diferenças de temperaturas entre as folhas dos cafeeiros sombreados e a pleno sol, especialmente nas posições sob a copa, oscilaram numa faixa de valores observada anteriormente por diversos autores como BARRADAS e FANJUL (1986), CARAMORI et al. (1996) e CARAMORI et al. (1999).

FIGURA 26 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFFEEIROS NA PARCELA COM PINUS, DAS 18:00 HORAS DO DIA 8 ÀS 23:45 HORAS DO DIA 9 DE JULHO DE 2002



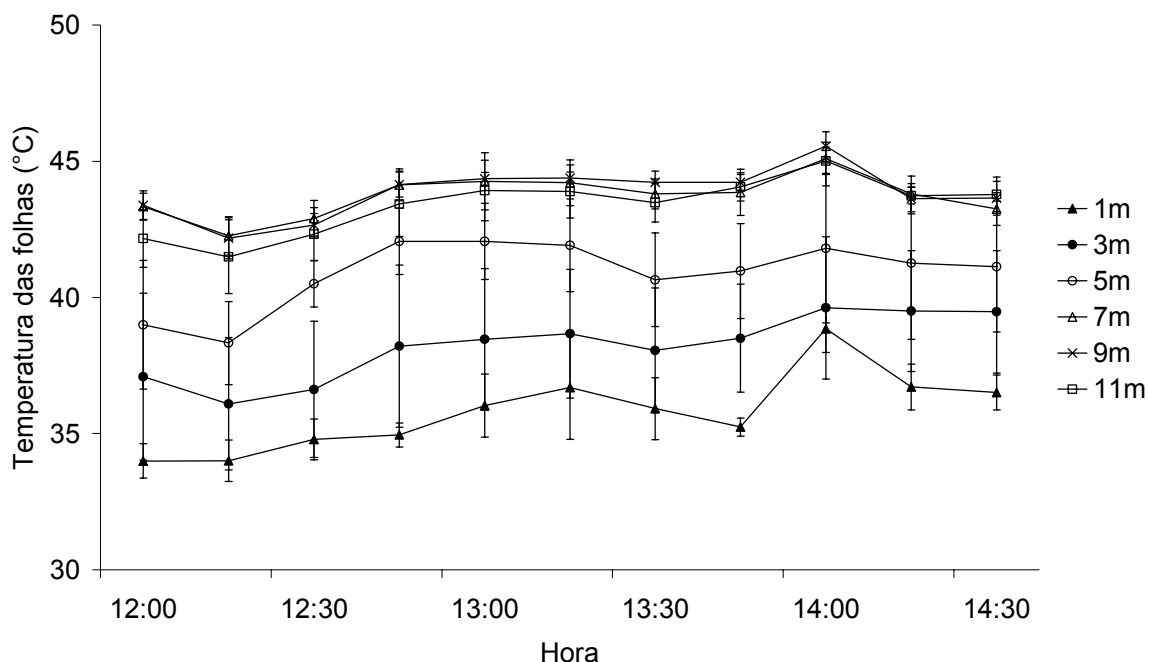
FONTE: O autor

FIGURA 27 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS DAS FOLHAS DOS CAFFEEIROS NA PARCELA COM PINUS NAS HORAS MAIS FRIAS DO DIA 9 DE JULHO DE 2002



FONTE: O autor

FIGURA 28 - MÉDIAS DAS TEMPERATURAS MÁXIMAS DAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NA PARCELA COM **PINUS** NAS HORAS MAIS QUENTES DO DIA 23 DE SETEMBRO DE 2003



FONTE: O autor

4.1.4 Produção de Café

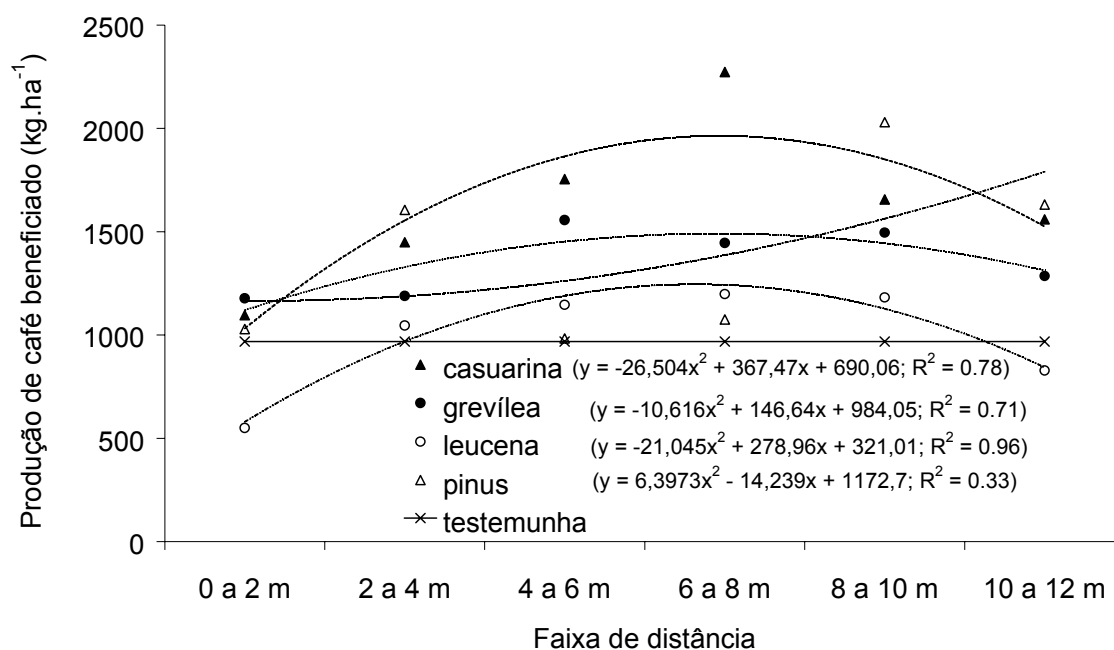
Foram analisadas as produções dos anos de 2002 e 2003 e o total do biênio. No ano de 2002 a produtividade foi relativamente baixa por ter sido a primeira colheita após a recepa. As produções médias dos tratamentos nas diversas distâncias, em 2002, são mostradas na figura 29 com as respectivas curvas quadráticas de tendência. Na tabela 2 são apresentados os mesmos valores em números. Apesar da ANOVA não ter revelado diferenças entre as médias dos tratamentos observa-se no gráfico da figura 29 que, à exceção da leucena na primeira e na última distância, todos os tratamentos tiveram médias superiores à testemunha em todas as distâncias. Esse resultado indica que a influência exercida pelas árvores favoreceu a produção do cafeeiro na colheita de 2002.

TABELA 2 - PRODUÇÃO MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) NA COLHEITA DE 2002 NAS FAIXAS DE DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES

| Espécie | 0 a 2 m | 2 a 4 m | 4 a 6 m | 6 a 8 m | 8 a 10 m | 10 a 12 m |
|------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| casuarina | 1096 | 1449 | 1755 | 2273 | 1656 | 1560 |
| grevílea | 1177 | 1189 | 1556 | 1445 | 1495 | 1285 |
| leucena | 550 | 1046 | 1146 | 1198 | 1182 | 828 |
| pinus | 1029 | 1605 | 983 | 1075 | 2030 | 1631 |
| testemunha | 968 | 968 | 968 | 968 | 968 | 968 |

FONTE: O autor

FIGURA 29 - PRODUÇÃO MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO NA COLHEITA DE 2002 NAS FAIXAS DE DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES



FONTE: O autor

Os valores da colheita de 2003 estão tabulados na tabela 3 com os resultados do teste SNK de comparação de médias. Na figura 30 estão plotados os mesmos dados com as respectivas curvas quadráticas de tendência ajustadas.

A testemunha superou significativamente todos os tratamentos na distância de 0 a 2m. Nesta distância a grevílea ficou em segundo lugar, mas sem se diferenciar significativamente das demais que também não diferiram entre si.

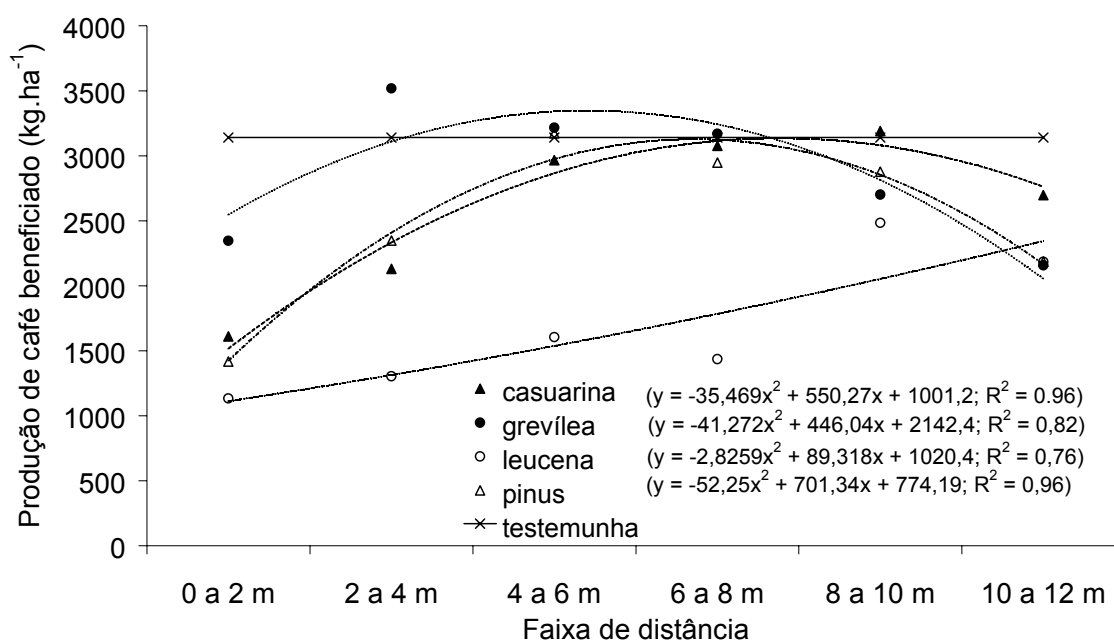
TABELA 3 - PRODUÇÃO MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) NA COLHEITA DE 2003 NAS FAIXAS DE DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES

| Espécie | 0 a 2 m* | 2 a 4 m | 4 a 6 m | 6 a 8 m | 8 a 10 m | 10 a 12 m |
|------------|----------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| casuarina | 1611 b | 2131 ab | 2966 a | 3076 a | 3191 a | 2698 a |
| grevílea | 2346 b | 3519 a | 3216 a | 3169 a | 2701 a | 2157 a |
| leucena | 1133 b | 1304 b | 1605 a | 1436 a | 2484 a | 2184 a |
| pinus | 1417 b | 2348 ab | 3174 a | 2948 a | 2878 a | 2185 a |
| testemunha | 3141 a | 3141 a | 3141 a | 3141 a | 3141 a | 3141 a |

FONTE: O autor

NOTA: Médias na coluna com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste SNK a 5 %

FIGURA 30 - PRODUÇÃO MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO NA COLHEITA DE 2003 NAS FAIXAS DE DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES



FONTE: O autor

Na faixa de 2 a 4 m a grevílea apresentou a maior média mas sem se diferenciar significativamente dos demais tratamentos, com exceção da leucena. Esta espécie apresentou média significativamente menor do que a grevílea e a testemunha, mas sem diferença significativa da casuarina e do pinus que não diferiram entre si. Nas demais distâncias não houve diferenças significativas entre os tratamentos.

Na figura 30 observa-se que a curva ajustada para a leucena apresentou tendência linear, diferentemente das demais espécies cujas curvas mostraram uma tendência quadrática.

A análise dos dados da produção do biênio foi feita de duas maneiras: considerando apenas a produtividade média na faixa de distância do tronco (por exemplo, na faixa de 4 a 6 m); e avaliando a produtividade desde o tronco até a distância selecionada (por exemplo, de 0 m até 6 m). Nesta última, a produtividade média até a distância considerada foi calculada pela média em cada faixa, ponderada pela área ocupada pela respectiva faixa.

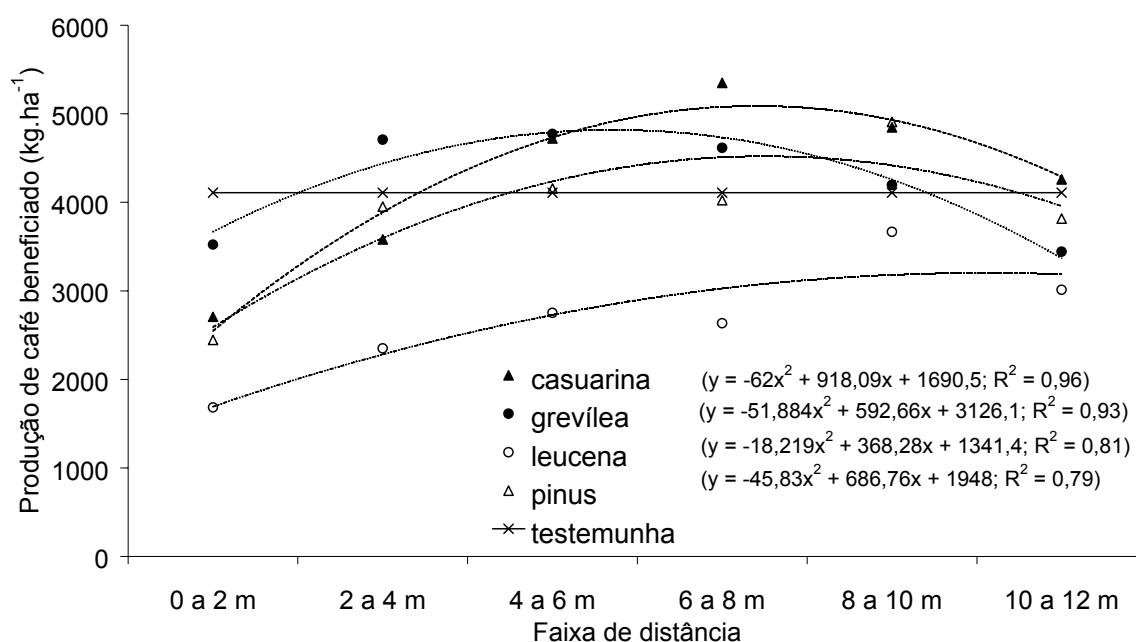
Os dados de produtividade do biênio 2002-2003 nas faixas de distância podem ser observados na tabela 4. Na faixa de 0 a 2m o teste estatístico de comparação de médias SNK revelou haver diferenças significativas entre a leucena e o tratamento testemunha, tendo as demais espécies ficado em posição intermediária, não se diferenciando estatisticamente de nenhum outro tratamento e nem entre si. Isso indica uma menor compatibilidade da leucena com o cafeeiro em relação às outras espécies, pois nessa faixa de distância (sob a copa) era onde se esperava que ocorressem as interações mais intensas "acima do solo" ("above ground") devido à maior interceptação da RFA pelas copas das árvores.

Nas faixas de 2 a 4m e de 4 a 6m não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Na distância de 6 a 8m a única diferença significativa encontrada foi entre a leucena, que teve a pior média, e o tratamento com a melhor média de produtividade nesta faixa, a casuarina. Nas duas últimas faixas de distância (8 a 10m e 10 a 12m) a análise estatística não acusou diferenças entre os tratamentos.

Observando o gráfico com as produções totais do biênio (figura 31) verifica-se que o tratamento com a leucena apresentou as menores produtividades em todas as distâncias, indicando que entre as quatro espécies foi a menos compatível com os cafeeiros.

FIGURA 31 - PRODUÇÃO TOTAL MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO NO BIÊNIO 2002-2003 NAS FAIXAS DE DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES



FONTE: O autor

TABELA 4 - PRODUÇÃO TOTAL MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO (kg.ha⁻¹) NO BIÊNIO 2002-2003 NAS FAIXAS DE DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES

| Espécie | 0 a 2 m | 2 a 4 m | 4 a 6 m | 6 a 8 m | 8 a 10 m | 10 a 12 m |
|------------|---------|---------|---------|---------|----------|-----------|
| casuarina | 2706 ab | 3581 a | 4721 a | 5349 a | 4847 a | 4258 a |
| grevilea | 3523 ab | 4707 a | 4772 a | 4614 ab | 4196 a | 3442 a |
| leucena | 1683 b | 2350 a | 2751 a | 2634 b | 3666 a | 3012 a |
| pinus | 2447 ab | 3953 a | 4157 a | 4023 ab | 4908 a | 3816 a |
| testemunha | 4109 a | 4109 a | 4109 a | 4109 ab | 4109 a | 4109 a |

FONTE: O autor

NOTA: Médias na coluna com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste SNK a 5 %

As produções totais do biênio, desde a faixa junto ao tronco da árvore até às distâncias máximas consideradas, estão na tabela 5 e as curvas de tendência ajustadas na figura 32. Esta maneira de calcular a produtividade permitiu uma melhor avaliação da influência da árvore no seu entorno, pois, na prática, as produtividades das faixas mais próximas da árvore devem ser incluídas ao calcular a produtividade até um ponto mais distante.

TABELA 5 - PRODUÇÃO TOTAL MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) NO BIÊNIO 2002-2003
EM DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES

| Distância | 0 a 2 m | 0 a 4 m | 0 a 6 m | 0 a 8 m | 0 a 10 m | 0 a 12 m |
|------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
| casuarina | 2706 ab | 3362 ab | 4117 a | 4656 a | 4725 a | 4582 a |
| grevílea | 3523 ab | 4411 a | 4612 a | 4613 ab | 4463 ab | 4151 a |
| leucena | 1683 b | 2183 b | 2499 a | 2558 b | 2957 b | 2974 a |
| pinus | 2447 ab | 3576 ab | 3899 a | 3953 ab | 4297 ab | 4150 a |
| testemunha | 4109 a | 4109 a | 4109 a | 4109 ab | 4109 ab | 4109 a |

FONTE: O autor

NOTA: Médias na coluna com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste SNK a 5 %

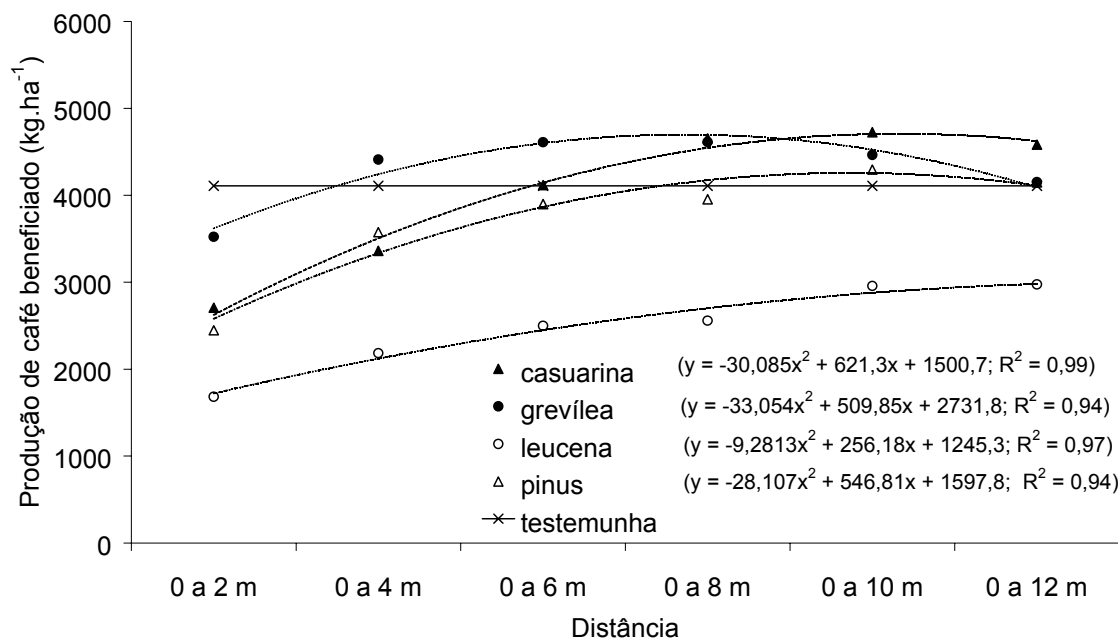
Na primeira faixa, de 0 a 2m, os resultados foram exatamente idênticos à análise anterior por faixa de distância. A partir da segunda faixa de distância os valores ficaram diferentes, pois incluíram a(s) produtividade(s) da(s) faixa(s) anterior(es) ponderadas pelas respectivas áreas.

Na distância de 0 a 4m a leucena ficou em último lugar, diferenciando-se significativamente da grevílea e da testemunha. Não houve outras diferenças significativas nesta distância.

De 0 a 6m a ANOVA não acusou diferença estatística entre os tratamentos. Até os 8m houve diferença estatisticamente significativa entre a leucena e a casuarina, respectivamente o pior e o melhor tratamento. Aos 10m o resultado da análise foi exatamente igual ao encontrado para a distância de 0 a 8m, com a leucena se diferenciando significativamente da casuarina. Na distância 12m não houve diferença estatística entre os tratamentos.

Observando a figura 32 verifica-se que a produtividade do tratamento leucena ficou sempre abaixo de todos os demais, revelando ser o pior tratamento. A produção sob o pinus foi maior que a da testemunha apenas nas distâncias de 0 a 10m e de 0 a 12m, embora as diferenças tenham sido pequenas e estatisticamente não significativas.

FIGURA 32 - PRODUÇÃO TOTAL MÉDIA DE CAFÉ BENEFICIADO NO BIÊNIO 2002-2003 EM DISTÂNCIAS PROGRESSIVAS DAS ÁRVORES



FONTE: O autor

Em relação à testemunha, o tratamento grevilea apresentou menor produtividade na faixa de 0 a 2m e maior produtividade nas demais distâncias, com um máximo em torno dos 8m. A casuarina foi a segunda espécie mais compatível na faixa mais próxima da árvore. A partir dos 6m ela superou a testemunha e aos 12m foi o tratamento que apresentou maiores produtividades. Dentre as quatro espécies testadas a grevilea e a casuarina foram as que apresentaram maior compatibilidade com o cafeeiro e embora a grevilea possa ser considerada a mais compatível, em função da menor redução da produção de café nas distâncias mais próximas da árvore, a casuarina revelou ter uma área de influência maior. Considerando a maior distância avaliada (12m) o tratamento casuarina obteve as maiores produtividades de café entre todos. Entretanto, para um mesmo nível de produtividade de café o tratamento grevilea permitiria mais árvores por área, pois alcançou o máximo de produtividade aos 8m enquanto o tratamento casuarina atingiu o maior nível aos 10m.

4.2 EXPERIMENTO 2 - ARBORIZAÇÃO DE CAFEEIROS COM BRACATINGA

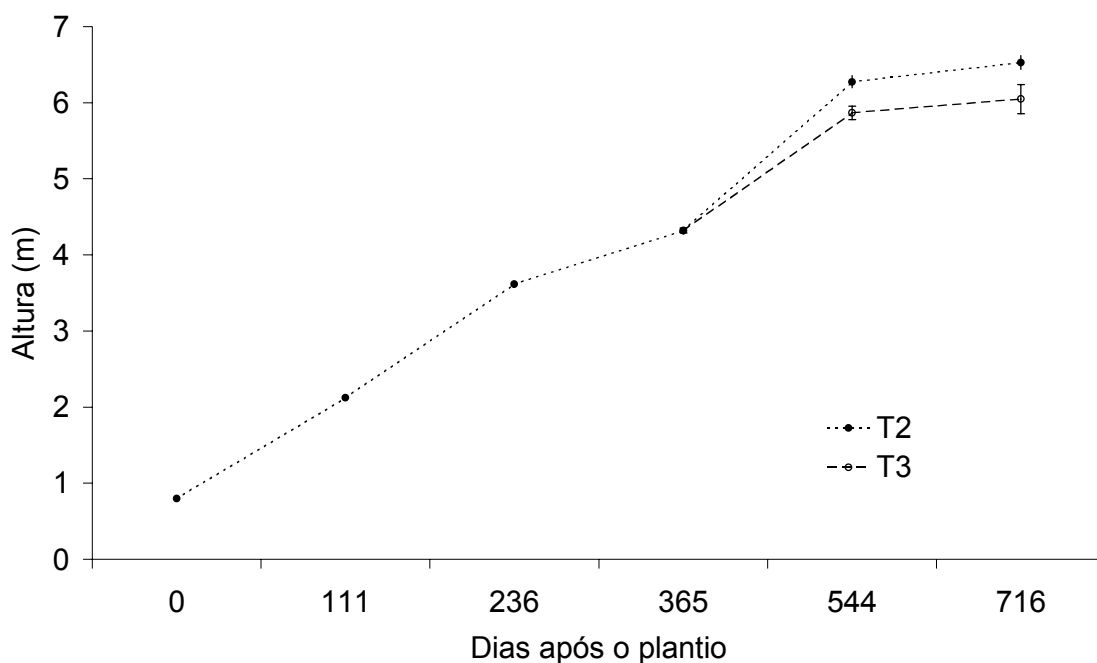
4.2.1 Desenvolvimento das Árvores de Bracatinga

4.2.1.1 Crescimento em altura

O crescimento em altura da bracatinga nas condições locais alcançou a média de 4,3 m no primeiro ano (fig. 33). Aos dois anos a altura média chegou a cerca de 6,5 m no tratamento mais adensado (T2) e 6,0 m no tratamento desbastado (T3). Os valores medidos no primeiro ano foram compatíveis com os registros encontrados na literatura: 3,58 m e 4,71 m (EMBRAPA, 1986); 3,92 m, 4,07m e 4,30 m (CARAMORI et al., 1996).

Na curva de crescimento (fig. 33) observa-se uma redução da taxa de crescimento em altura no tratamento desbastado em relação ao não desbastado, devido à diminuição da competição entre as árvores após o desbaste. Diferenças semelhantes a favor do plantio mais adensado foram registradas por CARAMORI et al. (1996).

FIGURA 33 - EVOLUÇÃO DA ALTURA TOTAL MÉDIA DAS BRACATINGAS NOS TRATAMENTOS T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha⁻¹) ATÉ OS DOIS ANOS DE IDADE



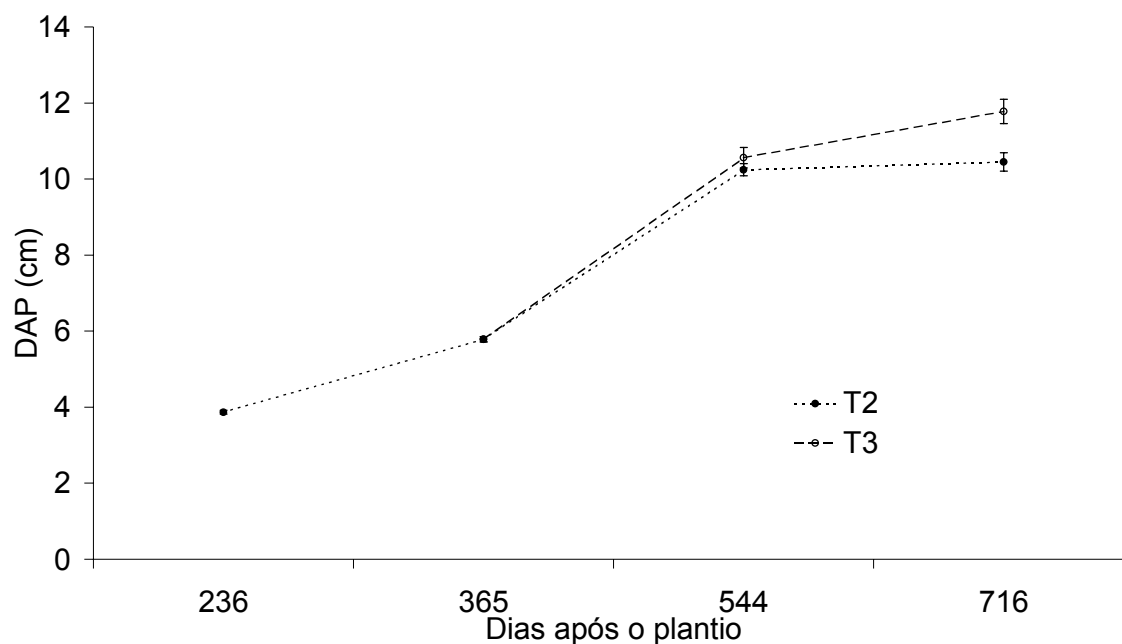
FONTE: O autor

NOTA: As barras verticais indicam o erro padrão da média

4.2.1.2 Crescimento em diâmetro (DAP)

O desenvolvimento do DAP (fig. 34) mostrou estagnação na parcela não desbastada, revelando que houve competição entre as plantas, pois na parcela desbastada o DAP continuou a aumentar. CARAMORI et al. (1996) registraram diferenças no DAP a favor das menores densidades entre populações com 50 e 250 plantas por hectare. Os valores médios de 5,8 cm no primeiro ano e 10,5 e 11,8 cm no segundo ano, para os tratamentos T2 e T3 respectivamente, podem ser considerados normais (EMBRAPA, 1986).

FIGURA 34 - EVOLUÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO À ALTURA DO PEITO (DAP) DAS BRACATINGAS NOS TRATAMENTOS T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha⁻¹) ATÉ OS DOIS ANOS DE IDADE



FONTE: O autor

NOTA: As barras verticais indicam o erro padrão da média.

4.2.1.3 Produtividade da bracatinga

O desenvolvimento da bracatinga neste experimento pode ser considerado normal e comparável aos melhores sítios, embora o local esteja fora da área de ocorrência natural da espécie e da área recomendada para plantios comerciais (EMBRAPA, 1986). Entretanto, o espaçamento utilizado (4,0 x 4,5 m) e a idade do desbaste (13 meses) não são usuais nos sistemas de produção tradicionais da bracatinga, o que dificulta as comparações e inferências sobre a produtividade.

As árvores desbastadas no tratamento T3, empilhadas e medidas, produziram o equivalente a 10,9 st.ha⁻¹ em 13 meses, o que significa uma produtividade de aproximadamente 14,6 st.ha⁻¹.ano considerando todas as árvores

nas parcelas.

O volume de madeira produzido foi estimado também por meio de modelos matemáticos com base nos valores de altura total média e DAP da árvore média. Usando um fator de empilhamento de 1,75 conforme recomendado em EMBRAPA (1988) e o fator de forma de 0,6781 aos 1,5 anos sugerido por HOSOKAWA et al.²⁷ (citado por EMBRAPA, 1988), chegou-se ao valor de 7,5 st.ha⁻¹. Calculando pela fórmula de AHRENS (1981) conforme recomendado por CARVALHO (1994), encontrou-se 5,5 st.ha⁻¹. Estes modelos matemáticos provavelmente subestimaram o volume total de madeira devido à ramificação pesada causada pelo espaçamento largo. Estudos sobre volumetria da bracatinga quando submetida a espaçamentos largos e desbastes precoces, como nos sistemas agroflorestais com cafeeiros, são necessários para possibilitar melhores estimativas de produtividade da espécie.

Aos dois anos as produções estimadas conforme a fórmula de AHRENS foram de 26,9 st.ha⁻¹ no tratamento T2 e 7,9 st.ha⁻¹ no T3. Pelo método de HOSOKAWA encontraram-se 36,9 st.ha⁻¹ no T2 e 10,8 st.ha⁻¹ no tratamento T3.

O volume obtido com o desbaste ao final do primeiro ano, considerando-se o preço médio de R\$ 9,00 por estére de lenha “posta no carreador”, em Londrina, renderia cerca de R\$ 100,00 por ha²⁸.

Ao contrário do observado por CARAMORI et al. (1996) neste experimento poucas árvores foram quebradas pelo vento, sendo que algumas recuperam a copa em pouco tempo. A alta densidade do plantio (555 árvores.ha⁻¹) foi um dos fatores que podem explicar a ausência do problema durante o primeiro ano e no tratamento mais denso (T2). O fato do experimento estar situado na face Oeste e protegido dos ventos mais fortes, que sopram da direção Sul – Sudoeste, ao contrário do experimento relatado por CARAMORI et al. (1996) que ficava na face leste, mais

²⁷ HOSOKAWA, R.T.; HILDEBRAND, E.; FARIAS, G.L.; MENDES, J.B. **Avaliação preliminar de produção de povoamentos de bracatinga (*Mimosa scabrella*):** relatório final. Curitiba: FUPEF, 1981. 17 p.

²⁸ Preços obtidos na internet em 04/06/04, <http://www.pr.gov.br/seab/deral/florest.xls>

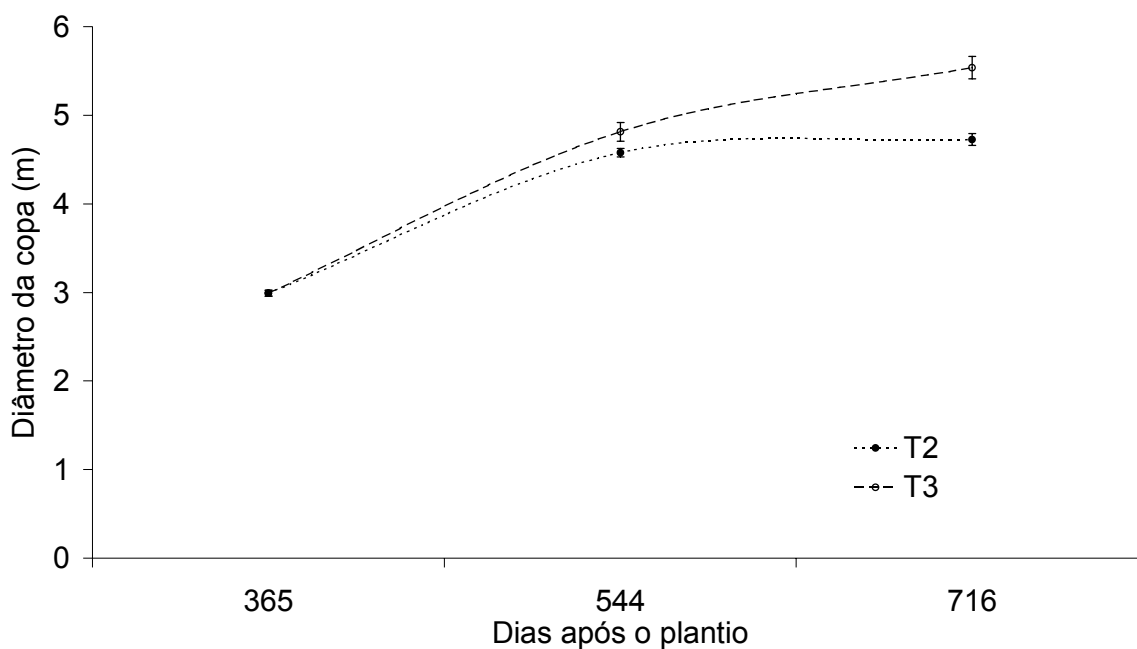
exposta, foi outro fator que pode explicar a pequena ocorrência de quebra das árvores por vento, mesmo no tratamento menos denso.

O fato da espécie estar fora da área bioclimática recomendada geralmente tem reflexo na longevidade das plantas (EMBRAPA, 1986). CARAMORI et al. (1996) registraram mortalidade precoce no experimento instalado nesta mesma propriedade.

4.2.1.4 Desenvolvimento do diâmetro de copa

O diâmetro da copa da bracatinga continuou a se desenvolver no tratamento desbastado mas no tratamento sem desbaste mostrou estagnação provocada pela competição entre as árvores, semelhante ao observado para o DAP (fig. 35).

FIGURA 35 - EVOLUÇÃO DO DIÂMETRO MÉDIO DA COPA DAS BRACATINGAS NOS TRATAMENTOS T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha⁻¹) ATÉ OS DOIS ANOS DE IDADE



FONTE: O autor

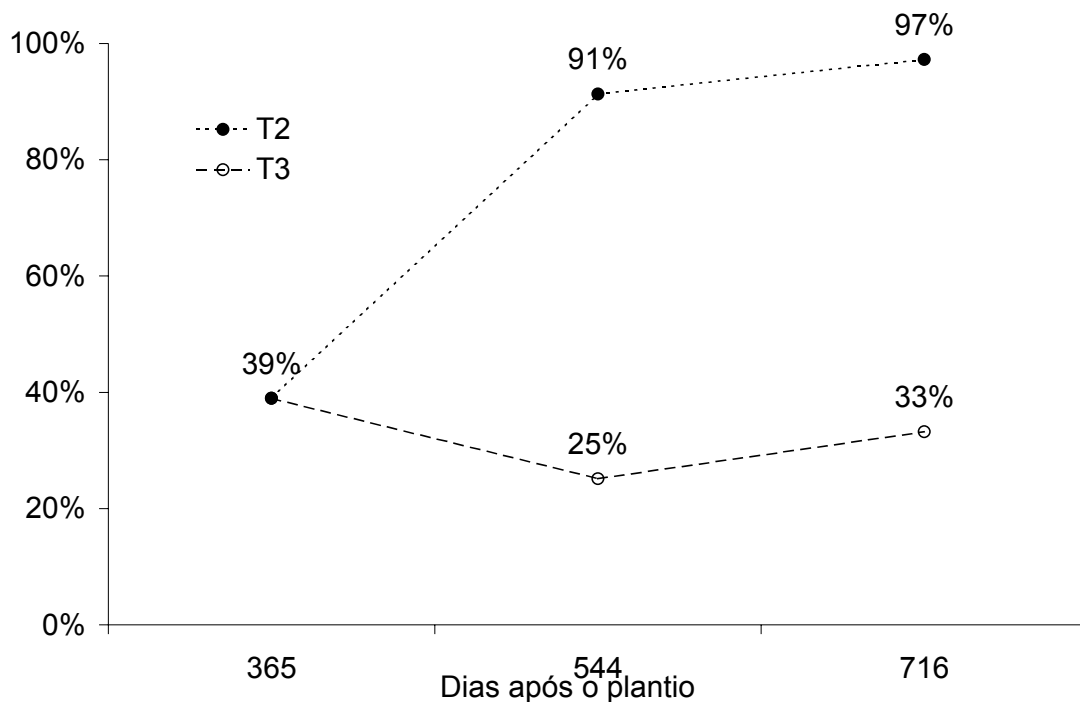
NOTA: As barras verticais indicam o erro padrão da média.

4.2.1.5 Evolução da cobertura do terreno pela copa da bracatinga

Ao final do primeiro ano as copas das bracatingas cobriam cerca de 40% do terreno. No tratamento sem desbaste este valor subiu para 91% aos 18 meses e alcançou 96% no final do segundo ano. Após os 18 meses o crescimento em diâmetro das copas ficou praticamente estagnado no tratamento sem desbaste. No tratamento com desbaste, realizado aos 14 meses, a percentagem de cobertura caiu para 25% após o desbaste e ao final do segundo ano chegou a 33% (fig. 36).

A taxa de crescimento da bracatinga registrada nos plantios com cafeeiros na região de Londrina permite que a espécie ofereça proteção já no primeiro ano de plantio, o que pode eliminar a necessidade de proteção temporária com espécies arbustivas ou anuais.

FIGURA 36 - EVOLUÇÃO PERCENTUAL DE COBERTURA DO TERRENO PELAS COPAS DAS BRACATINGAS NOS TRATAMENTOS T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha⁻¹) ATÉ OS DOIS ANOS DE IDADE

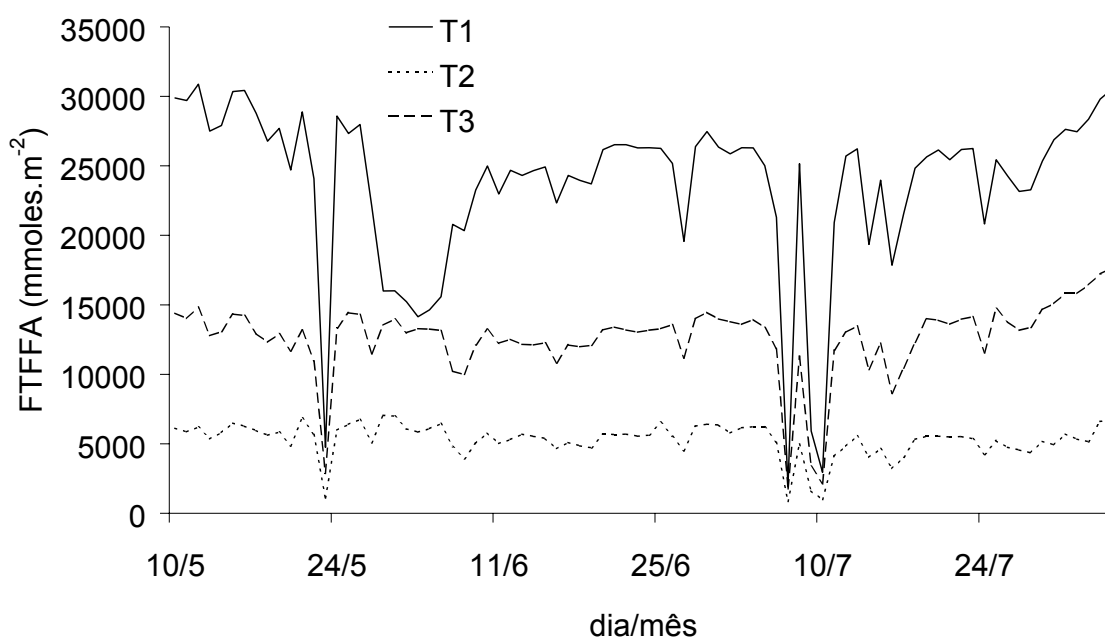


FONTE: O autor

4.2.2 Redução da Radiação Fotossinteticamente Ativa pela Arborização

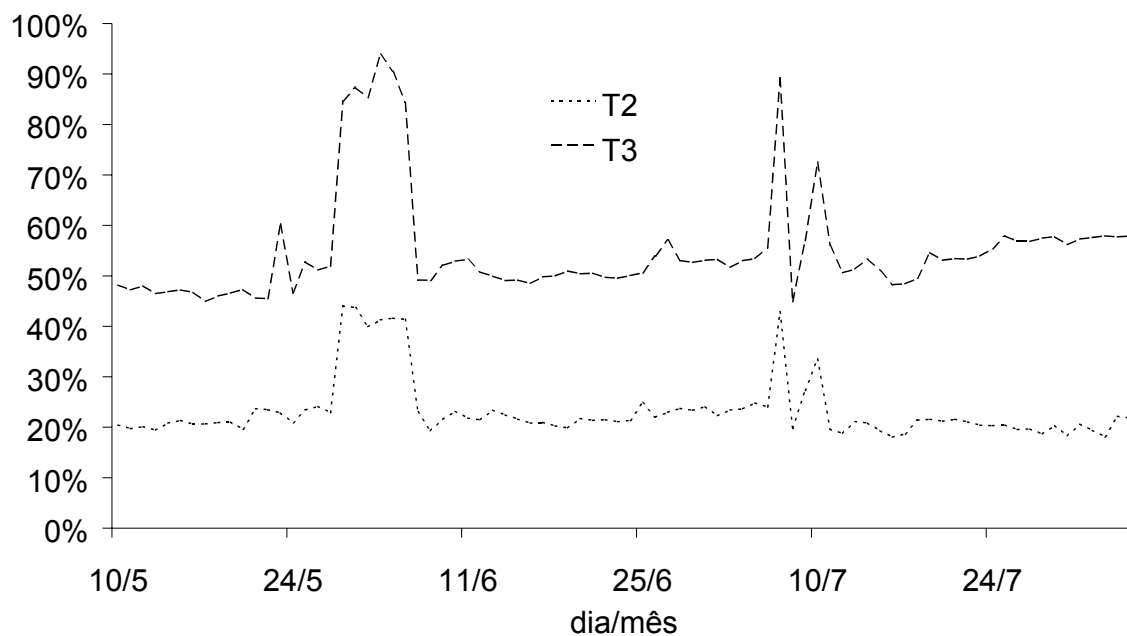
No período entre 10 de maio a 4 de agosto de 2003 mediu-se a DFFFA que incidia na copa dos cafeeiros em cada tratamento e calculou-se o FTFFA diário. Esses valores estão na figura 37, onde pode-se observar a variação da quantidade de RFA que incidiu nos tratamentos durante o período. Na figura 38 estão, para os tratamentos T2 e T3, as porcentagens do total incidente no tratamento testemunha (T1). A média nesse período ficou em 23 e 55% para os tratamentos T2 e T3, respectivamente. Nos dias nublados, devido à maior percentagem de radiação difusa em relação à radiação direta, a fração de RFA incidente sob as árvores aumentou, tendo chegado a mais de 40% no tratamento T2 e superado os 90% no T3.

FIGURA 37 - FLUXO TOTAL DIÁRIO DE FÓTONS FOTOSSINTETICAMENTE ATIVOS INCIDENTE NAS COPAS DOS CAFEEIROS NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha⁻¹), NO PERÍODO DE 10 DE MAIO A 4 DE AGOSTO DE 2003



FONTE: O autor

FIGURA 38 - PERCENTAGEM DO FLUXO TOTAL DIÁRIO DE FÓTONS FOTOSINTETICAMENTE ATIVOS INCIDENTE NAS COPAS DOS CAFFEEIROS NOS TRATAMENTOS T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha⁻¹), EM RELAÇÃO AO TRATAMENTO T1 (PLENO SOL), NO PERÍODO DE 10 DE MAIO A 4 DE AGOSTO DE 2003



FONTE: O autor

4.2.3 Temperatura das Folhas dos Cafeeiros

4.2.3.1 Médias mensais nos tratamentos

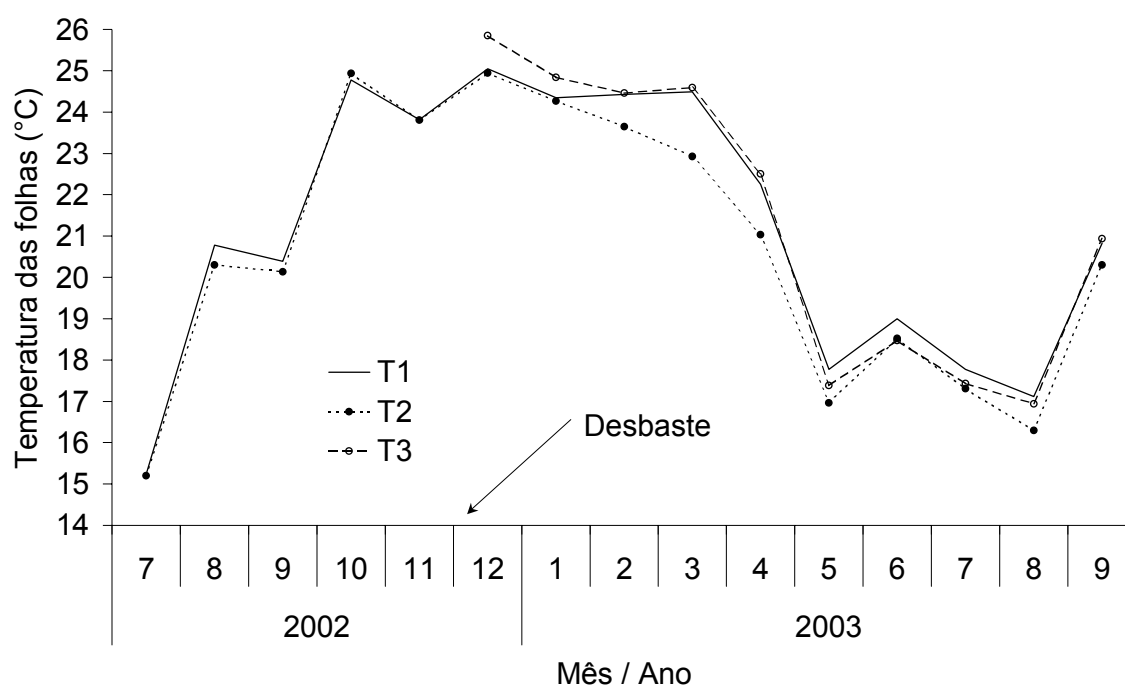
As médias mensais da temperatura nas folhas dos cafeeiros no período de julho de 2002 a setembro de 2003 são apresentadas na figura 39.

Observa-se que houve pouca diferença na temperatura média entre os tratamentos arborizado e a pleno sol no primeiro ano. A partir de fevereiro de 2003 observa-se que o tratamento com arborização mais densa (T2) apresentou sistematicamente uma temperatura média inferior ao tratamento testemunha (T1), revelando o efeito da redução da insolação diurna pelas copas das árvores.

Na fase inicial do tratamento com arborização menos densa (T3) registrou-

se maior média de temperatura nas folhas em relação aos demais tratamentos (T1 e T2). Este aumento pode ser atribuído ao fato das folhas estarem adaptadas ao ambiente sombreado e com o brusco aumento da insolação causado pelo desbaste se aqueceram mais do que as folhas adaptadas ao pleno sol. Com o passar do tempo novas folhas adaptadas ao ambiente com alta insolação se formaram e a partir de maio as temperaturas médias neste tratamento passaram a registrar valores mais baixos que a pleno sol.

FIGURA 39 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS NAS FOLHAS DOS CAFEEIROS NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha⁻¹), NO PERÍODO DE JULHO DE 2002 A SETEMBRO DE 2003



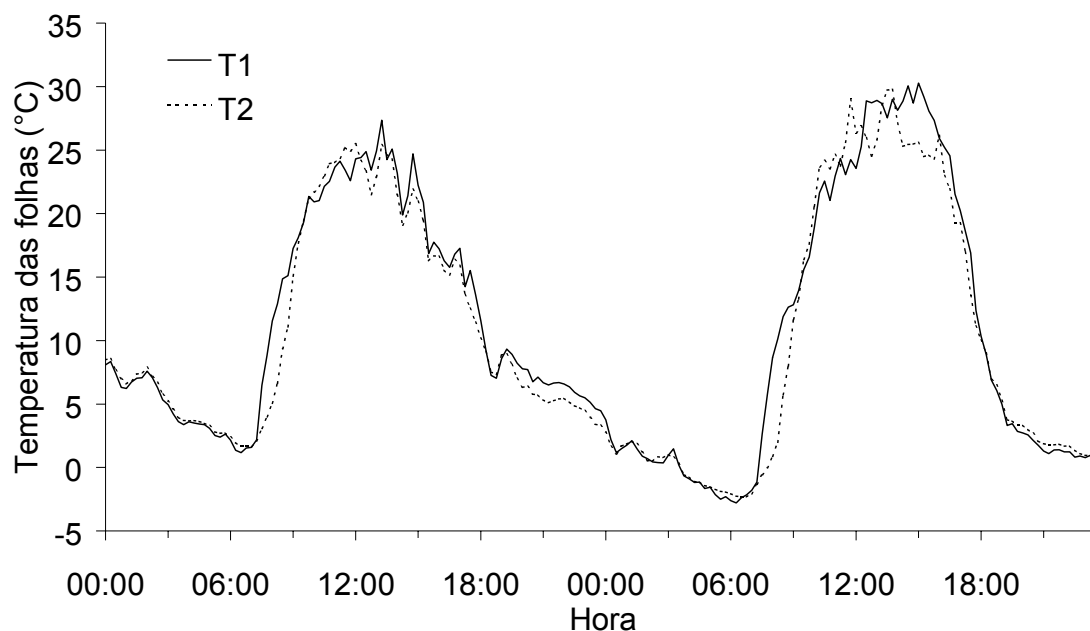
FONTE: O autor

4.2.3.2 Temperatura das folhas ao longo do dia

A variação da temperatura das folhas no período diário e nas horas mais frias do dia foi analisada em alguns dias selecionados durante o período de 7 de julho de 2002 a 30 de setembro de 2003.

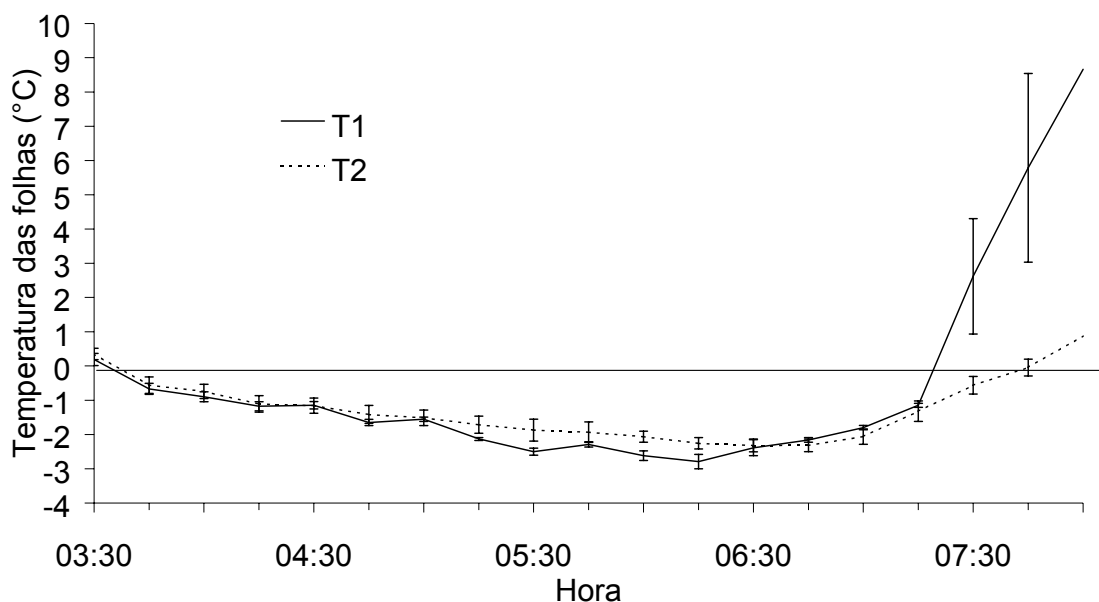
As temperaturas mais baixas foram registradas no dia 2 de setembro de 2002. Na figura 40 são apresentados os dados de temperatura mínima média das folhas dos cafeeiros nos tratamentos nos dias 1 e 2 de setembro de 2002. Na figura 44 estão os mesmos dados no período das 3:30 horas às 8:00 horas do dia 2 de setembro de 2002, período que compreendeu as temperaturas mais baixas.

FIGURA 40 - TEMPERATURA DAS FOLHAS DO CAFEIEIRO NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL) E T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) AO LONGO DOS DIAS 1 E 2 DE SETEMBRO DE 2002



FONTE: O autor

FIGURA 41 - TEMPERATURA DAS FOLHAS DO CAFEIEIRO NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL) E T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) DURANTE AS HORAS MAIS FRIAS DO DIA 2 DE SETEMBRO DE 2002



FONTE: O autor

Na época das medições as bracatingas estavam com 4,3 m de altura média e as copas cobrindo cerca de 39% da área. Das 5:30 às 6:30 horas foram registradas as menores temperaturas do dia e pode-se observar que as copas das árvores forneceram alguma proteção, pois a temperatura média das folhas na parcela testemunha (T1) ficou um pouco mais baixa (diferença máxima de 0,6°C) do que na parcela com as bracatingas (T2). Nesse período as médias horárias de velocidade do vento a 10 m de altura registradas na estação meteorológica próxima ficaram sempre acima de 2 m.s⁻¹, indicando ausência de calmaria na madrugada desse dia, o que impediu uma estratificação mais definida das camadas de ar junto ao solo como ocorre tipicamente em noites de geada de irradiação.

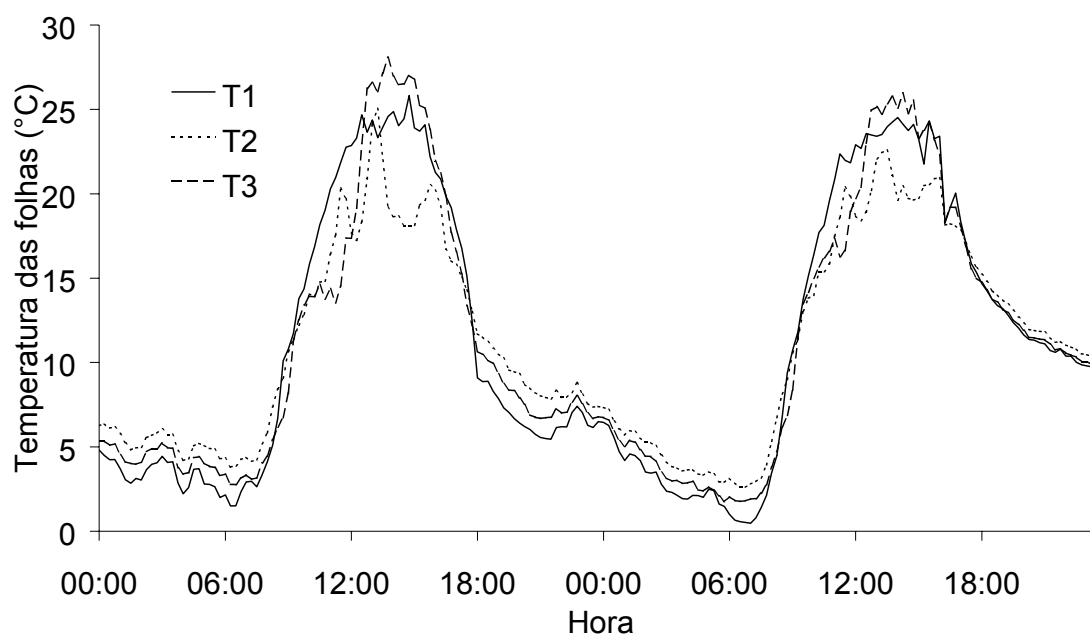
Numa noite de calmaria ou com pouco vento a estratificação térmica das camadas de ar junto ao solo é mais definida, permitindo diferenças mais acentuadas

entre as temperaturas medidas na parcela testemunha e nas parcelas arborizadas.

Na figura 42 estão os dados da temperatura média das folhas dos tratamentos durante os dias 12 e 13 de julho de 2003 quando o terceiro tratamento já estava instalado e as copas cobriam mais de 90% no tratamento T2 e em torno de 30% no T3. Na figura 43 estão os mesmos dados durante as horas mais frias do dia 13. A maior diferença entre os tratamentos T1 e T2 foi de 2,3°C às 7:00 horas, quando a diferença entre os tratamentos T1 e T3 era de 1,5°C.

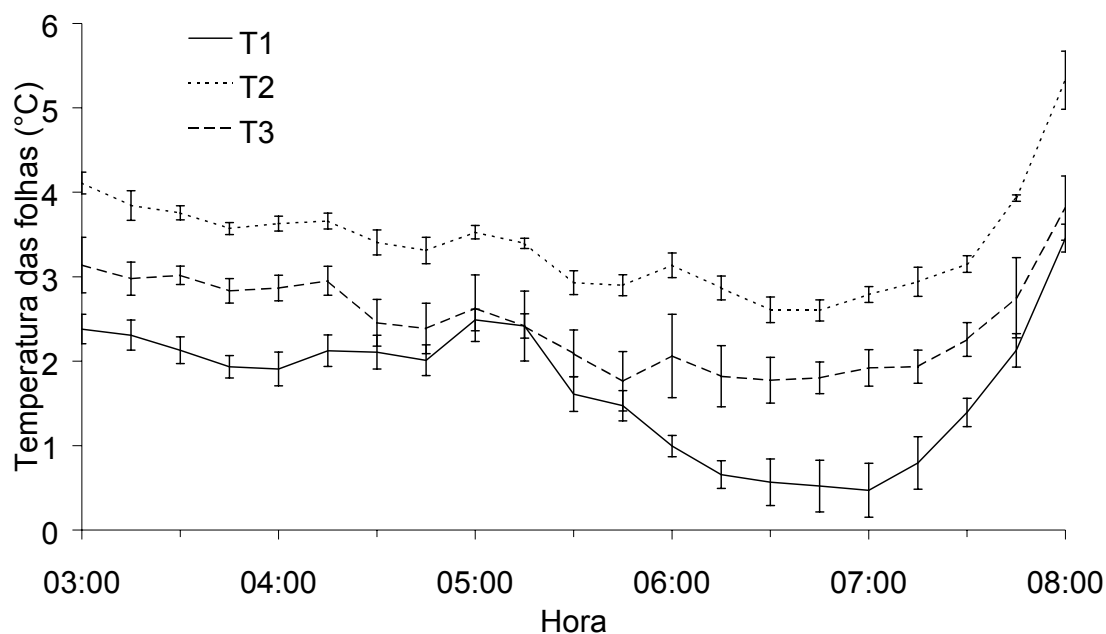
Diferença de 2,3°C foi registrada por CARAMORI et al. (1999) em Londrina entre folhas de cafeeiros a pleno sol e sob cobertura de guandu (*Cajanus cajan*).

FIGURA 42 - TEMPERATURA DAS FOLHAS DO CAFEIEIRO NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha⁻¹) AO LONGO DOS DIAS 12 E 13 DE JULHO DE 2003



FONTE: O autor

FIGURA 43 - TEMPERATURA DAS FOLHAS DO CAFEIEIRO NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha⁻¹) DURANTE AS HORAS MAIS FRIAS DO DIA 13 DE JULHO DE 2003



FONTE: O autor

Na figura 44 estão os dados de temperatura média das folhas durante um dia com temperaturas altas, 6 de setembro de 2003. Na figura 45 estão os mesmos dados nas horas mais quentes desse dia. A diferença entre o tratamento a pleno sol (T1) e o arborizado com maior densidade (T2) chegou a 8,7°C. Entre os tratamentos T1 e T3 a maior diferença foi de pouco mais de 2°C. Nos gráficos pode-se observar a grande variação nas temperaturas dos tratamentos, havendo momentos que o tratamento T2 (com maior densidade de árvores) chegou a apresentar temperaturas mais altas do que os demais.

Em Londrina, CARAMORI et al. (1999) registraram diferença nas temperaturas máximas de até 5,8°C entre folhas de cafeeiros a pleno sol e sombreados com guandu.

FIGURA 44 - TEMPERATURA DAS FOLHAS DO CAFEIEIRO NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha⁻¹) AO LONGO DO DIA 6 DE SETEMBRO DE 2003

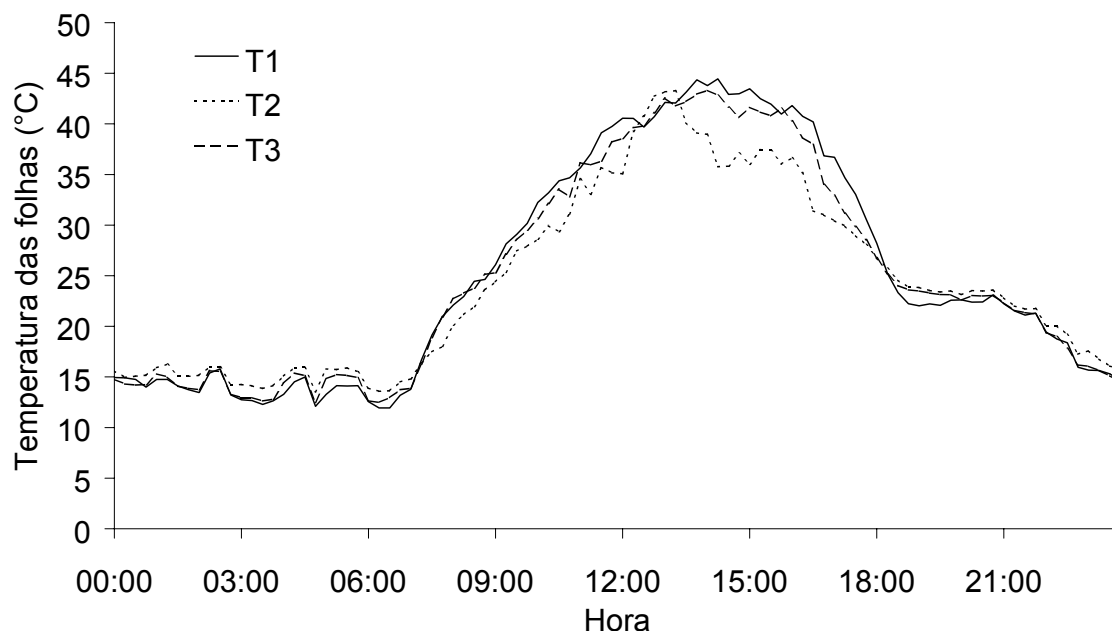
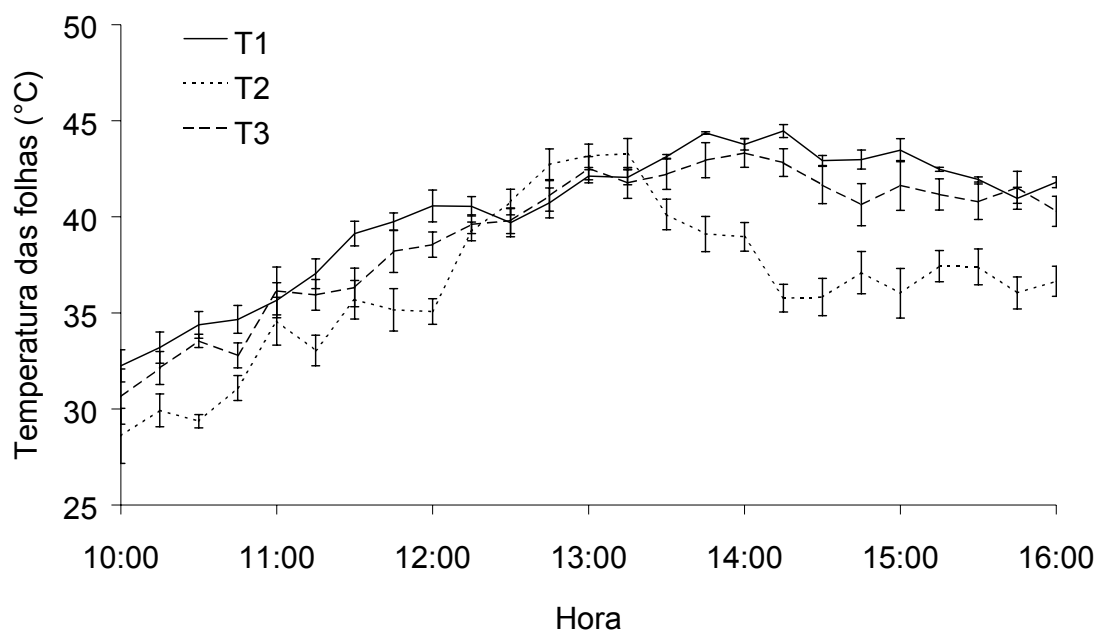


FIGURA 45 - TEMPERATURA DAS FOLHAS DO CAFEIEIRO NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES.ha⁻¹) E T3 (139 ÁRVORES.ha⁻¹) DURANTE AS HORAS MAIS QUENTES DO DIA 6 DE SETEMBRO DE 2003



FONTE: O autor

4.2.4 Produção de Café

A colheita de café no experimento ocorreu nos anos de 2002 e 2003. A colheita de 2002 foi a primeira após a recepa das plantas em 2000. A produção foi pequena e desuniforme, havendo plantas que não apresentaram nenhuma produção de grãos, pois a recuperação das plantas após a recepa ocorre de maneira gradual e desigual. A colheita de 2003 foi abundante e uniforme, tendo havido produção em todas as plantas das parcelas. Em função da bianualidade na produção dos cafeeiros a análise estatística dos dados de produção apresentada na tabela 6 foi feita com o total dessas duas colheitas. Na tabela 7 estão os resultados da análise estatística dos dados de produção para o total do biênio e para os dois anos em separado.

TABELA 6 - QUADRO DE ANOVA DOS VALORES DE PRODUÇÃO TOTAL DE CAFÉ BENEFICIADO (kg.ha⁻¹) NO BIÊNIO 2002-2003

| F.V. | G.L. | S.Q. | Q.M. | F calc. | Prob. > F |
|---------------|------|---------------|---------------|---------|-------------|
| Tratamentos | 2 | 40 950 811,57 | 20 475 405,78 | 71,26 | 0,0007 ** |
| Blocos | 2 | 1 718 963,97 | 859 481,98 | 2,99 | 0,1606 n.s. |
| Resíduo | 4 | 1 149 396,13 | 287 349,03 | | |
| Total | 8 | 43 819 171,68 | | | |
| C.V.% = 10,08 | | | | | |

FONTE: O autor

NOTAS: * significativo ao nível de 5% de probabilidade

** significativo ao nível de 1% de probabilidade

n.s. não significativo

TABELA 7 - MÉDIAS DE PRODUÇÃO DE CAFÉ BENEFICIADO ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) NOS TRATAMENTOS T1 (PLENO SOL), T2 (555 ÁRVORES. ha^{-1}) E T3 (139 ÁRVORES. ha^{-1}), NAS COLHEITAS DE 2002, 2003 E TOTAL DO BIÊNIO

| Colheita | T1 (pleno sol) | T3 (139 árv. ha^{-1}) | T2 (555 árv. ha^{-1}) |
|-----------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 2002 | 566 a | - | 915 a |
| 2003 | 7 167 a | 4 606 b | 1 631 c |
| Total no biênio | 7 733 a | 5 679 b | 2 545 c |

FONTE: O autor

NOTA: Médias na linha com letras diferentes indicam diferença significativa pelo teste SNK a 5 %

No ano de 2002 a produtividade dos cafeeiros sombreados foi cerca de 61% maior que a observada a nos cafeeiros a pleno sol, mas os tratamentos não se diferenciaram estatisticamente devido à grande variabilidade entre as parcelas experimentais. Não obstante, as médias mostraram um efeito positivo da arborização no período de recuperação dos cafeeiros recepados.

No ano de 2003 o efeito da arborização na produtividade dos cafeeiros foi inversamente proporcional à densidade da arborização. Os três tratamentos apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si. As produtividades dos tratamentos sombreados T3 e T2 foram, respectivamente, 64% e 23% da observada no tratamento a pleno sol.

A diferença entre os dois tratamentos sombreados, na safra de 2003, mostrou que a redução da densidade das bracingas favoreceu o aumento da produtividade dos cafeeiros.

Com relação à produção total no biênio 2002-2003 o comportamento dos tratamentos foi semelhante ao observado no ano de 2003, com diferenças significativas entre todas as médias. As produtividades dos tratamentos T3 e T2 foram, respectivamente, 73% e 33% da obtida no tratamento a pleno sol, diferenças menores que as obtidas na safra 2003.

5 CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho permitem concluir o seguinte:

- a) Considerando a produtividade dos cafeeiros sob a copa das árvores no biênio 2002-2003, as espécies arbóreas apresentaram a seguinte ordem de compatibilidade com os cafeeiros: *G. robusta* > *C. equisetifolia* > *P. oocarpa* > *L. diversifolia*.
- b) O tratamento leucena apresentou médias de produtividade de café beneficiado inferiores aos demais em todas as faixas de distância, indicando pouca compatibilidade com o cafeeiro nas condições avaliadas.
- c) A produtividade dos cafeeiros foi reduzida sob a copa de todas as espécies arbóreas, mas fora da copa foram registradas produtividades maiores do que a do tratamento testemunha em todos os tratamentos, com exceção do leucena.
- d) O potencial de proteção contra geadas de radiação, avaliado pelas diferenças entre as temperaturas mínimas das folhas dos cafeeiros a pleno sol e sob a copa das árvores, foi semelhante entre as diversas espécies arbóreas, com valores entre 2,4 e 3,0°C.
- e) O tratamento leucena propiciou maior área protegida contra geadas de radiação por indivíduo, devido ao seu maior diâmetro de copa.
- f) A produção de café beneficiado nas duas primeiras safras após a recepa dos cafeeiros foi inversamente proporcional à população da bracatinga, com diferenças estatisticamente significativas entre todos os tratamentos.
- g) O potencial da bracatinga para proteção contra geadas de radiação foi proporcional à densidade do plantio, tendo sido observadas diferenças de 2,3°C e 1,5°C entre a temperatura das folhas dos cafeeiros a pleno sol e dos arborizados nas densidades de 555 plantas.ha⁻¹ e 139 plantas.ha⁻¹, respectivamente.

REFERÊNCIAS

- AHRENS, S. Importância da distribuição de resíduos de regressão na seleção de equações de volume. In: **Contribuição da URPFCS ao 4º Congresso Florestal Brasileiro**. Curitiba: EMBRAPA-URPFCS, 1982. 119 p. (Documentos, 10).
- ANDROCIOLI FILHO, A. **Evaluación de metodología para estudiar la predisposición de plantas de café (*Coffea arabica* L.) al agotamiento precoz**. Turrialba, Costa Rica, 1987. 108 p. Tese (mestrado) - Universidad de Costa Rica (UCR/CATIE).
- ANDROCIOLI FILHO, A.; LIMA, F. B., TRENTO, E. J., CARNEIRO FILHO, F., CARAMORI, P. H., SCHOLZ, M. B. S. Caracterização da qualidade bebida dos cafés produzidos em diversas regiões do Paraná. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3. Porto Seguro, BA., 2003. **Anais**. Brasília, DF: Consórcio Brasileiro de Pesquisa e desenvolvimento do Café, 2003. p.256-7.
- BAGGIO, A.J.; CARAMORI, P.H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; MONTOYA, L. Productivity of southern Brazilian coffee plantations shaded by different stockings of *Grevillea robusta*. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 37, p. 111-120, 1997.
- BAGGIO, A.J. **Sistema agroflorestal grevilea x café: início de uma nova era na agricultura paranaense?** Curitiba, EMBRAPA-URPFCS. 1983. (Circular técnica, 09).
- BARRADAS, V.L.; FANJUL, L. Microclimatic characterization of shaded and open-grown coffee (*Coffea arabica* L.) plantations in Mexico. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 38, p. 101-112, 1986.
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; RENA, A.B. Coffee crop ecology. **Tropical Ecology**, v. 36, n. 1, p. 1-19, 1995.
- BARROS, R.S.; MAESTRI, M.; RENA, A.B. Physiology of growth and production of the coffee tree – a review. **Journal of Coffee Research**, v. 27, n. 1, p. 1-54, 1999.
- BARTHELEMY, D.; EDELIN, C.; HALLE, F. Canopy architecture. In: RAGHAVENDRA, A.S. **Physiology of trees**. New York: John Wiley e Sons, 1991.
- BEER, J. Advantages, disadvantages and desirable characteristics of shade trees for coffee, cacao and tea. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 5, p. 3-13, 1987.
- BENE, J.G.; BEALL, H.W.; CÔTE, A. **Les arbres dans l'aménagement des terres sous les tropiques: une solution à la faim**. Ottawa: CRDI, 1978. 55 p.
- BERTHAUD, J.; CHARRIER, A. Genetic resources of *Coffea*. In: CLARKE, R.J.; MACRAE, R. **Coffee: Volume 4: Agronomy**. London: Elsevier, 1988.
- BRAY, R.A.; SORENSSON, C.T. *Leucaena diversifolia*: fast growing highland NFT species. **NFT HIGHLIGHTS**. (NFTA 92-05). Nitrogen Fixing Tree Association, Waimanalo. 1992.
- BREWBAKER, J.L. Significant nitrogen fixing trees in agroforestry systems. In: GHOLZ, H.L. **Agroforestry: realities, possibilities and potentials**. Kluwer, 1987. p.31-45.

BUCK, M.G. Concepts of resources sharing in agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 4, p. 191-203, 1986.

CAMARGO, A.P. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.11, n.126, p.13-26, 1985.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. Campinas: **Bragantia**, v. 60, n. 1, p.65-68, 2001.

CAMARGO, A.P.; PEREIRA, A.R. **Agrometeorology of the coffee crop**. Genebra: WMO, 1994. CAgM Report n°58. WMO/TD n° 615.

CAMARGO, A.P.; SALATI, E. Determinação da temperatura letal de folhagem de cafeeiro em noite de geada. Campinas: **Bragantia**, v.25, p. 61-62, 1966.

CAMARGO, R.; TELLES JR., A.Q. **O Café no Brasil: sua aclimação e industrialização**. Rio de Janeiro: Serviço de Informação Agrícola, Ministério da Agricultura, 1953.

CANNELL, M.G.R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. **Journal of Coffee Research**, v.5, n. 1/2, p. 7-20, 1975.

CANNELL, M.G.R. Seasonal patterns of growth and development of arabica coffee in Kenya. 3: Changes in the photosynthetic capacity of the trees. **Kenya Coffee**, Quênia, n. 36, p. 68-74, 1971.

CANNELL, M.G.R.; VAN NOORDWIJK, M.; ONG, C.K. The central agroforestry hypothesis: the trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 34, p. 27-31, 1996.

CARAMORI, P.H.; ANDROCIOLI FILHO, A.; LEAL, A.C. Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 33, p. 205-214, 1996.

CARAMORI, P.H.; CAVIGLIONE, J.H.; WREGGE, M.S.; GONÇALVES, S.L.; FARIA, R.T.; ANDROCIOLI FILHO, A.; SERA, T.; CHAVES, J.C.D.; KOGUSHI, M.S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do café (*Coffea arabica* L.) no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n. 3, p. 486-494, 2001.

CARAMORI, P.H.; LEAL, A.C.; MORAIS, H. Temporary shading of young coffee plantations with pigeonpea (*Cajanus cajan*) for frost protection in southern Brazil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 195-200, 1999.

CARAMORI, P.H.; MANETTI FILHO, J.; LEAL, A.C.; MORAIS, H. **Geada: técnicas para proteção dos cafezais**. Londrina: IAPAR, 2000. 36 p. (Circular, 112).

CARAMORI, P.H.; MANETTI FILHO, J.; FARIA, R. T.; ANDROCIOLI FILHO, A. Arborização do cafeeiro com *Leucena leucocephala* para proteção contra geadas. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 5., Belém. **Anais**. Belém: 1987.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Brasília: EMBRAPA - SPI, 1994. 640 p.

CARVALHO, A. Principles and practice of coffee plant breeding for productivity and quality factors: *Coffea arabica*. In: CLARKE, R.J.; MACRAE, R. (Eds). **Coffee: Volume 4: Agronomy**. London: Elsevier, 1988. p. 129-165.

CASTILLO, J.Z.; LOPEZ, R.A. Nota sobre el efecto de la intensidad de la luz en la floración del café. **Cenicafé**, Chinchina, v. 17, n. 2, p. 51-60, 1966.

CHAVES, J.C.D. **Manejo do solo: Adubação e calagem, antes e após a implantação da lavoura cafeeira**. Londrina: IAPAR, 2002. 36 p. (Circular, 120).

CHAVES, J.C.D. **Nutrição, adubação e calagem do cafeeiro**. Londrina: IAPAR, 1986. 24 p. (Circular Técnica, 48).

CHAZDON, R.L.; WILLIAMS, K.; FIELD, C.B. Interactions between crown structure and light environment in five rain forest piper species. **American Journal of Botany**, v. 75, n. 10, p. 1459-1471, 1988.

CHIRKO, P.C.; GOLD, M.A.; NGUYEN, P.V.; JIANG, J.P. Influence of orientation on wheat yield and photosynthetic photon flux density (Q_p) at the tree and crop interface in a *Paulownia*-wheat intercropping system. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 89, p. 149-156, 1996.

CHIRKO, P.C.; GOLD, M.A.; NGUYEN, P.V.; JIANG, J.P. Influence of direction and distance from trees on wheat yield and photosynthetic photon flux density (Q_p) in a *Paulownia* and wheat intercropping system. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 83, p. 171-180, 1996.

CONNOR, D.J. Plant stress factors and their influence on production of agroforestry plant associations. In: HUXLEY, P.A. **Plant Research and Agroforestry**. Nairobi: ICRAF, 1983. p. 401-426.

DAMATTA, F.M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v. 86, p. 99-114, 2004.

DAMATTA, F.M.; RENA, A.B. Ecofisiologia de cafezais sombreados e a pleno sol. In: ZAMBOLIM, L. **O estado da arte de tecnologias na produção do café**. Viçosa: UFV, 2002. p. 93-135.

DEMEL, T.; ASSEFA, T. Shade trees of coffee in Harerge, Eastern Ethiopia. **The International Tree Crops Journal**, v. 7, p. 17-27, 1991.

DOMMERGUES, Y. Casuarina equisetifolia: an old-timer with a new future. **NFT HIGHLIGHTS**. (NFTA 90-02). Waimanalo: Nitrogen Fixing Tree Association, 1990.

EL-LAKANY, M.H. Introductory remarks - a brief account of Casuarina research: past achievements and future trends. In: Pinyopusarerk, K.; Turnbull, J.W.; Midgley, S.J. (Eds.) **Recent Casuarina Research and Development**. Proceedings of the third International Casuarina Workshop. Da Nang, Vietnam. 4-7 March, 1966. Canberra, 1966. p.12-16.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Manual técnico da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.)**. Curitiba, 1988. 70 p. (Documentos, 20).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná**. Brasília, 1986. 89 p. (Documentos, 17).

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. Efeitos da idade da folha e níveis de radiação sobre a taxa de fotossíntese aparente das plantas de café (*Coffea arabica*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 11°, Londrina: MIC, IBC. 1984. p. 200-203.

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. Crecimiento y asimilación del carbono y nitrógeno en plantas jóvenes de *Coffea* en condiciones de sol y de sombra. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CAFICULTURA. 19°, **Memorias...**, San José: ICAFE. 2000. p. 101-108.

FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C.; PEZZOPANE, J.R.M.; MAGOSSO, R.; ALFONSI, E.L. Variaciones microclimáticas y densidade de flujo de savia en plantas de café (*Coffea arabica* L.) conducidas en diferentes regímenes de luz. In: SIMPOSIO LATINOAMERICANO DE CAFICULTURA. 19°, **Memorias...** San José: ICAFE. 2000. p. 91-99.

FANJUL, L.; ARREOLA-RODRIGUEZ, R.; MENDEZ-CASTREJON, M.P. Stomatal responses to environmental variables in shade and sun grown coffee plants in Mexico. **Experimental Agriculture**, v. 21, p. 249-258, 1985.

FARIA, R.T.; CARAMORI, P.H. Caracterização físico-hídrica de um latossolo roxo distrófico do município de Londrina, PR. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 21, n. 12, p. 1303-1311, 1986.

FAZUOLI, L.C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Eds.) **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS. 1986. p. 87-113.

FERRAZ, E.C. **Estudos sobre o momento em que a geada danifica as folhas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Mundo Novo)**. Piracicaba, 1968. Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

FOURNIER, L.A. El cultivo del cafeto (*Coffea arabica* L.) al sol o a la sombra: un enfoque agronomico y ecofisiologico. **Agronomia Costaricense**, v.12, n.1, p. 131-146, 1988.

FRANCO, C.M. O problema do sombreamento dos cafezais em São Paulo. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, São Paulo, v. 22, n. 248, p. 708-717, 1947.

FRANCO, C.M. A água no solo e o sombreamento dos cafezais em São Paulo. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, São Paulo, v. 27, n. 299, p. 10-19, 1952.

FRANCO, C.M. Descoloração em folhas de cafeeiro, causado pelo frio. Campinas: **Bragantia**, v. 15, n. 13, p. 131-135, 1956.

FRANCO, C.M. Estrangulamento do caule do cafeeiro, causado pelo frio. Campinas: **Bragantia**, v. 19, p. 515-521, 1960.

FRANCO, C.M. **Apontamentos de fisiologia do cafeeiro**. mimeo. 1970. 56 p.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba. 1982. 10° ed. 430 p.

GOMEZ, L.G.; ROBLEDO, A.J. Temperaturas en arboles de café al sol. **Cenicafé**, v. 25, n. 2, p. 61-62, 1974.

GUTSCHICK, P.V.; BARRON, H.M.; WAECHTER, D.A.; WOLF, M.A. Portable monitor for solar radiation that accumulates irradiance histograms for 32 leaf-mounted sensors. **Agricultural and Forest Meteorology**, 33, p. 281-290, 1985.

HARDWOOD, C.E.; BOOTH, T.H. Status of *Grevillea robusta* in forestry and agroforestry. In: HARDWOOD, C.E. (Ed.). **Grevillea robusta in agroforestry and forestry**: proceedings of an international workshop. Nairobi: ICRAF, 1992.

HUXLEY, P.A. Some characteristics of trees to be considered in agroforestry. In: HUXLEY, P.A. (Ed.) **Plant research and agroforestry**. Nairobi: ICRAF, 1983. p. 3-12.

IAPAR. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, 2000. 1 CD-ROM.

IAPAR. **Modelo tecnológico para o café no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1991. 15 p. (Informe da pesquisa, n. 97)

INOUE, M.T.; RODERJAN, C.V.; KUNIOSHI, Y.S. **Projeto madeira do Paraná**. Curitiba: FUPEF, 1984.

JARAMILLO R., A.; CHÁVEZ C., B. Aspectos hidrológicos en un bosque y en plantaciones de café (*Coffea arabica*) al sol y bajo sombra. **Cenicafé**, Chinchina, v. 50, n. 2, p. 97-105, 1999.

KUMAR, D.; TIESZEN, L.L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. I. Effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, v. 16, p. 13-19, 1980.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.

LAZZARINI, W. A cafeicultura no Brasil. In: Instituto brasileiro do café - IBC. **Curso de economia cafeeira**. 1962. t.1, p. 169-268.

LEAL, A.C.; RAMOS, A.L.M. Introdução e avaliação preliminar de espécies florestais de uso múltiplo no Norte do Paraná. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS. 1., Porto Velho, **Anais...**, EMBRAPA. 1994. p. 229-232. (Documentos, 27).

LEAL, A.C.; RAMOS, A.L.M. Desempenho de procedências de *Casuarina equisetifolia* Forst. e Forst. no Norte do Paraná aos quatro anos. In: FOREST 2000. Congresso e Exposição Internacional sobre Florestas, 6., Porto Seguro. **Resumos Técnicos**. Rio de Janeiro: Biosfera, 2000. p. 91-92.

LEUNING, R.; CREMER, K.W. Leaf temperatures during radiation frost. Part I. Observations. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 42, p. 121-133, 1988.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: M. Roesner, 1968. 350 p.

MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Coffee. In: ALVIM, P.T.; KOZLOWSKI, T.T. **Ecophysiology of tropical crops**. New York: Academic, 1977.

MAESTRI, M.; BARROS, R.S.; RENA, A.B. Coffee. In: LAST, F.T. (Ed.), **Tree crop ecosystem**. Amsterdam: Elsevier. 2001. p. 339-360.

MALAVOLTA, E. **História do café no Brasil:** agronomia agricultura e comercialização. São Paulo: Ceres, 2000. 464 p.

MARTINS, E.G.; NEVES, E.J.M., FERREIRA, C.A.; SHIMIZU, J.Y. Desempenho de procedências de grevilea nos Estados do Paraná e São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus, CEPLAC/UESC, 2002. 1 CD-ROM.

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil.** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002.

MIGUEL, A.E.; MATIELLO, J.B.; CAMARGO, A.P.; ALMEIDA, S.R.; GUIMARÃES, E.S. Efeitos da arborização de cafezal com *Grevilea robusta* nas temperaturas do ar e na umidade do solo – Parte II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 21. 1995, Caxambú. **Trabalhos apresentados...** Caxambú, PROCAFE/DENAC. 1995. p. 55-57.

MITCHELL, H.W. Cultivation and harvesting of arabica coffee tree. In: CLARKE, R.J.; MACRAE, R. **Coffee:** Volume 4: Agronomy. London: Elsevier, 1988.

MONTAGNINI, F. **Sistemas Agroflorestais:** principios y aplicaciones en los trópicos. 2ª ed. San José: OET. 1992. 622 p.

MORAIS, H. **Efeitos do sombreamento de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) com guandu (*Cajanus cajan* [L.] Millsp.) no Norte do Paraná.** Londrina, 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Londrina.

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

MUSCHLER, R.G. **Tree-crop compatibility in agroforestry: production and quality of coffee grown under managed tree shade in Costa Rica.** 1998. 219 p. Dissertação (Doutorado) - University of Florida.

NAIR, P.K.R. **Agroforestry Systems in the Tropics.** Dordrecht: Kluwer, 1989. 664p.

NAIR, P.K.R. **An Introduction to Agroforestry.** Dordrecht: Kluwer, 1993. 49 p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Casuarinas: nitrogen fixing trees for adverse sites.** Washington: National Academy Press, 1984.

NUNES, M.D.; RAMALHO, J.D.; ADELAIDE DIAS, M. Effect of nitrogen supply on the photosynthetic performance of leaves from coffee plants exposed to bright light. **Journal of Experimental Botany**, v. 44, n. 262, p. 893-899, 1993.

OROZCO, C.F.J.; JARAMILLO, R.A. Efecto del déficit de humedad en el suelo sobre la temperatura del solo y de las hojas en plantas de *Coffea canephora* y *C. arabica*. Colombia. **CENICAFE**, Chinchina, v. 29, n. 4, p. 121-134, 1978.

PEREIRA, J. P., LEAL, A. C.; RAMOS, A. L. M.; ANDROCIO FILHO, A. Alternativas para viabilização da pequena propriedade rural no Paraná através de sistemas agroflorestais com seringueira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo. 1 CD-ROM.

PEREIRA, J. P., LEAL, A. C.; RAMOS, A. L. M.; ANDROCIOLO FILHO, A. Consorciação da seringueira e cafeeiro em fase terminal: Efeito no desenvolvimento vegetativo da seringueira e produção do cafeeiro. In: II SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, VITÓRIA. **Anais...** Vitória, Embrapa Café, 2001.

PICADO, W. Mimosa scabrella espécie com potencial para sombra y producción de leña em cafetales de Costa Rica. In: SIMPOSIOS SOBRE TÉCNICAS DE PRODUCCIÓN DE LEÑA EN FINCAS PEQUEÑAS Y RECUPERACIÓN DE SITIOS DEGRADADOS POR MEDIO DE LA SILVICULTURA INTENSIVA. 1985, Turrialba. **Actas...** Turrialba, CATIE, 1985, p. 227-239.

POLZI, W.B.; SANTOS, A.J.; TIMOFEICZYK JR., R.; POLZI, P.K. Cadeia produtiva do processamento mecânico da madeira: segmento da madeira serrada no estado do Paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 2003. 1 CD-ROM.

RAO, M.R.; NAIR, P.K.R.; ONG, C.K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 38, p. 3-50, 1998.

RENA, A.B. **Consequências fisiológicas das baixas temperaturas no cafeeiro.** Lavras: EPAMIG, 2000. (Circular Técnica, n. 99)

ROCHA, J.B. **Contribuição para o estudo da cultura do café à sombra.** São Paulo: Secretaria da Agricultura e Comércio do Estado de São Paulo, 1927.

ROMERO-ALVARADO, Y.; SOTO-PINTO, L.; GARCÍA-BARRIOS, L.; BARRERA-GAYTÁN, J.F. Coffee yields and soil nutrients under the shades of *Inga* sp. vs. multiple species in Chiapas, Mexico. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v.54, p. 215-224, 2002.

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

SCHROTH, G. Tree root characteristics as criteria for species selection and systems design in agroforestry. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 30, p. 125-143, 1995.

SCHROTH, G.; LEHMANN, J.; RODRIGUES, M.R.L.; BARROS, E.; MACÊDO, J.L.V. Plant-soil interactions in multistrata agroforestry in the humid tropics. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 53, p. 85-102, 2001.

SMITH, D.M.; JACKSON, N.A.; ROBERTS, J.M.; ONG, C.K. Root distributions in a *Grevillea robusta* – maize agroforestry system in semi-arid Kenya. **Plant and Soil**, v.211, p.191-205, 1999.

SOMARRIBA, E. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 19, p. 233-240, 1992.

SOMARRIBA, E.; BEER, J.; MUSCHLER, R.G. Research methods for multistrata agroforestry systems with coffee and cacao: recomendations from two decades of research at CATIE. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 53, p. 195-203, 2001.

SOMARRIBA, E.; VALDIVIESO, R.; VÁSQUEZ, W.; GALLOWAY, G. Survival, growth, timber productivity and site index of *Cordia alliodora* in forestry and agroforestry systems. Kluwer. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 51, p. 111-118, 2001.

SPURR, H.S.; BARNES, B.V. **Forest ecology**. New York: John Wiley e Sons, 1980. 687 p.

SYLVAIN, P.G. Some observations on *Coffea arabica* L. in Ethiopia. **Turrialba**, v. 5, n.1-2, p. 37-53, 1955.

TEJWANI, K.G. Agroforestry practices and research in India. In: GHOLZ, H.L. **Agroforestry: realities, possibilities and potentials**. Kluwer, 1987. p. 109-136.

THIMIJJAN, R.W.; HEINS, R.D. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. **HortScience**, v. 18, n. 6, p. 818-822, 1983.

VOLTAN, R.B.Q.; FAHL, J.I.; CARELLI, M.L.C. Variação na anatomia foliar de cafeeiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.4, n.2, p.99-105, 1992.

WRIGLEY, G. **Coffee**. New York: Longman Scientific e Technical, 1988. 639 p.

WILLEY, R.W. The use of shade in coffee, cocoa and tea. **Horticultural Abstracts**, v. 45, n. 12, p.791-798, 1975.