

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA CAROLINA VIEIRA DE OLIVEIRA

CULTIVO DE GIRASSOL EM SISTEMA AGROFLORESTAL NA REGIÃO SUL DO
BRASIL

CURITIBA

2013

ANA CAROLINA VIEIRA DE OLIVEIRA

CULTIVO DE GIRASSOL EM SISTEMA AGROFLORESTAL NA REGIÃO SUL DO
BRASIL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Anibal de Moraes

Co-Orientadores: Prof. Dra. Claudete Reisdorfer Lang

Dr. Edilson Batista de Oliveira

Dra. Maria de Fátima dos Santos Ribeiro

CURITIBA

2013



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



PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de MESTRADO, apresentada pela candidata **ANA CAROLINA VIEIRA DE OLIVEIRA**, sob o título “**CULTIVO DO GIRASSOL EM SISTEMA AGROFLORESTAL NO SUL DO BRASIL**”, para obtenção do grau de Mestre em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido a candidata são de parecer pela “**APROVAÇÃO**” da Dissertação.

Curitiba, 24 de Maio de 2013.

Professora Dra. Louise Larissa May De Mio
Coordenadora do Programa

Dra. Lúcia Beatriz dos Santos Canali
Primeira Examinadora

Professora Dra. Tangriani Simioni Assmann
Segunda Examinadora

Professora Dra. Claudete Reisdörfer Lang
Terceira Examinadora

Professor Dr. Anibal de Moraes
Presidente da Banca e Orientador

*Dedico este trabalho
à minha amável mãe,
Catarina Vieira, que sempre
me apoiou e trabalhou
arduamente para que eu
pudesse seguir meus estudos;
à minha irmã Elaine Cristina
pela amizade e incentivo;
à minha afilhada Maria
Vitoria pelo carinho e
compreensão pelos inúmeros
momentos de ausência;
e a todos os agricultores e
profissionais engajados em
alimentar o mundo de maneira
sustentável.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e inspiração.

Ao Prof. Dr. Anibal de Moraes, pela orientação, compreensão, amizade nos momentos difíceis que passei e acima de tudo confiança em meu potencial.

À Prof. Dra. Claudete Lang, pela amizade, carinho e confiança em meu trabalho.

À Dra. Maria de Fátima S. Ribeiro, pela dedicação, ensinamentos e disponibilidade em me orientar durante o estágio de mestrado junto ao IAPAR – Instituto Agrônomo do Paraná – Estação Experimental Fazenda Modelo.

Ao Dr. Edilson B. de Oliveira pelo imensurável apoio estatístico.

Ao pesquisador da EMBRAPA Florestas – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Dr. Vanderlei Porfírio da Silva, pelos esforços na implantação dos sistemas, ensinamentos e pela valiosa contribuição na metodologia do projeto.

Ao Dr. Sebastião Lustosa pelas sugestões na melhoria da dissertação.

Ao Prof. Dr. Adelino Pelissari pelo sábio ensinamento da essência da Agronomia.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – pela concessão da bolsa de estudos durante o Mestrado.

Aos queridos funcionários do IAPAR: Ranieri R. Nogueira, Gilliard, Pedro e Arlindo pelo apoio no trabalho de campo, ao Hélio (IAPAR de Iporã), Vicente Parabocz e Antônio Campos (“mineiro”) pelo auxílio nas análises laboratoriais, a Vera e Tide pela solidariedade em proporcionar o melhor ambiente para viver na fazenda, ao Oscar e Nelson por terem sido solícitos no deslocamento entre as unidades, e a todos os reclusos que me ajudaram nas avaliações e tratos culturais.

Aos pesquisadores do IAPAR, Dra. Laíse Pontes, Msc. Giovani Tomaz, Dra. Denize, Dr. José Luiz Moletta, Dr. Francisco Skora Neto e Neuri.

A Dra. Raquel Barro pelo companheirismo e auxílio nas avaliações de campo.

Aos meus colegas MSc. Ivan César Furmann Moura, MSc. Leonardo Deiss, MSc. Gederson Buzzelo e João Paulo pela amizade, pela ajuda no projeto e suporte nas minhas idas para a Fazenda Modelo.

As minhas amigas Ana Cláudia Klosowki, Ana Selenia F. Lucius, Cornélia Gorski, Daiane P. Targão, Hagata Hennipman, Joyce Maronezzi, Marcela Lange e Thaisa Wendhausen R. da Silva pelos conselhos, amizade e apoio para seguir minha carreira acadêmica.

Aos professores do PPGPV/UFPR - Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Paraná - pelos ensinamentos.

À Lucimara Antunes, Secretária do PPGPV/UFPR, pelo apoio administrativo.

À minha querida mãe pelo amor incondicional e carinho em todos os momentos.

A todos os profissionais da agricultura que se dedicam em prol da sustentabilidade na produção de alimentos.

“Meu interesse está no futuro, pois é lá que vou passar o resto de minha vida”.

Charles Kettering

BIOGRAFIA DA AUTORA

ANA CAROLINA VIEIRA DE OLIVEIRA, filha de Antônio Rodrigues de Oliveira e Catarina Vieira, nasceu em São José dos Pinhais-PR, em 22 de agosto de 1987.

Cursou o ensino infantil na escola municipal Ananias Antônio Mauad, ensino fundamental no colégio estadual Lindaura Ribeiro Lucas e ensino médio no Colégio Estadual do Paraná, em Curitiba.

Em 2005, ingressou no curso de Agronomia na UFPR, obtendo o grau de Engenheira Agrônoma no dia 25 de março de 2011.

Em 2006, iniciou suas atividades de pesquisa no laboratório de micropropagação vegetal com a transformação genética de *Eucalyptus dunnii*.

Durante o período de 2007 a 2006, atuou como bolsista de iniciação científica (CNPq - Conselho Nacional de desenvolvimento Científico e Tecnológico) no projeto Solo Bioma em cooperação com o museu de ciências naturais da Alemanha.

Desenvolveu seus estudos na ENSAR - École nationale supérieure agronomique de Rennes - através do CAPES/BRAFAGRI - Programa de Cooperação Franco-brasileira – em 2009.

Foi estagiária no departamento de ecofisiologia vegetal e melhoramento genético do INRA - Institut national de la recherche agronomique – no ano de 2010.

No dia 28 de fevereiro de 2011, iniciou o curso de mestrado no programa de pós-graduação em Agronomia, área de concentração em produção vegetal, na linha de pesquisa em sistemas integrados.

Á convite da WFO - World Farmers' Organisation - participou como colaboradora na difusão de práticas agrícolas sustentáveis na Conferência das Nações Unidas para o desenvolvimento sustentável (Rio+20) ocorrida em 2012. A partir desse ano, passa a inserir seus trabalhos de pesquisa no contexto global.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. A CULTURA DO GIRASSOL	12
2.1.1. Aspectos econômicos e produtivos da cultura do girassol	12
2.1.2. Ecofisiologia do girassol.....	13
2.1.3. Estádios fenológicos da cultura do girassol e sua importância	14
2.1.4. Componentes de rendimento do girassol.....	14
2.1.5. A influência da temperatura no desenvolvimento e rendimento da cultura do girassol	15
2.1.6. Exigências hídricas e o efeito do déficit hídrico.....	17
2.1.7. A Energia luminosa na produção de girassol e o eucalipto.....	19
2.2. SISTEMAS AGROFLORESTAIS: conceito, classificação e importância.....	21
2.3. INTERAÇÕES ENTRE A CULTURA DO GIRASSOL E O EUCALIPTO	25
3. CAPÍTULO I	27
Growth, yield components and Sclerotinia incidence of sunflower in an alley cropping system in Brazil.....	28
ABSTRACT	28
INTRODUCTION	29
MATERIAL AND METHODS	30
2.1. Description of the study area and experimental design	30
2.2. Plant material, crop-tree management and treatments	31
2.3 Sampling, measurements and observations	31
2.3.1 Weather database	31
2.3.2. Soil moisture.....	32
2.3.3. Photosynthetically active radiation (PAR)	32
2.3.4. Shade gradient into ACS	32
2.3.5. Leaf Area Index (LAI)	32
2.3 Statistical analysis	33
3.RESULTS	33
3.1 Growing season conditions	33
3.2 PAR available to plants	34
3.3 Growth , Yield Components and <i>Sclerotinia Sclerotiorum</i> incidence.....	34
4. DISCUSSION.....	35
5. CONCLUSIONS	37
ACKNOWLEDGEMENTS	37
REFERENCES	38
4. CAPÍTULO II	47
Sunflower seed grown in Agroforestry system as livestock feed in Brazil.....	47
ABSTRACT.....	47
INTRODUCTION	47
MATERIAL AND METHODS	49

2.1. Study site description	49
2.2 Experimental design and measurements	50
2.3 Statistical analysis	51
3.RESULTS	51
3.1 Sunflower grain nutritional value	51
3.2 Grain yield and its components	52
4. DISCUSSION.....	50
4.1 Sunflower grain nutritional value	52
4.2 Grain yield components.....	52
5. CONCLUSIONS	54
ACKNOWLEDGMENTS	55
REFERENCES	55
5. CONCLUSÕES GERAIS.....	62
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
7. REFERÊNCIAS GERAIS	64
ANEXOS	72

LISTA DE FIGURAS

FIGURE 1. A. Satellite image from Google Earth of IAPAR's experimental station showing four blocks into ACS and the NTM experiment, B. Experimental sketch of sunflower plots.	41
FIGURE 2. The rainfall (mm), maximum and minimum air temperature patterns during sunflower growth.....	42
FIGURE 3. The relative humidity (%) and the global solar radiation incident in Ponta Grossa, Brazil, during sunflower growth.....	42
FIGURE 4. Gravimetric and volumetric soil moisture in the 0-20 cm soil layer.....	43
FIGURE 5. Relationship between PAR incident and shading in the ACS.	43
FIGURE 6. Diurnal (AM, noon, PM) PAR (photosynthetically active radiation ($\mu\text{Mol}/\text{m}^2\text{S}$)) within sunflowers plots in ACS and NTM (control).	44
FIGURE 7. Growth and yield components of sunflower seeds grown in alley cropping agroforestry system	46
FIGURE 8. Crude protein compounds of sunflower seeds grown in alley cropping agroforestry systems	59
FIGURE 9. Grain yield, dry matter and ether extract (Kg ha^{-1}) of sunflower seeds grown in alley cropping agroforestry system.....	61
FIGURA 10 ANEXO 1. Mapa da distribuição global da cultura do girassol.	73
FIGURA 11. Estádios fenológicos do girassol.....	76
FIGURA 12. Efeito provocado pelo ataque do fungo <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	77
FIGURA 13. Desenvolvimento do girassol no SAF.	77
FIGURA 14. Girassol cultivado A: no SAF; B: em monocultivo.....	78

LISTA DE TABELAS

TABLE 1. Chemical soil analysis of samples collected in the 0-20cm layer, in the five tracks in alley cropping system (ACS) and in the no-till (NT).....	40
TABLE 2. Yield components and Sclerotinia incidence of three sunflower genotypes in ACS (D1 to D5 tracks) and NTM (control).	45
TABLE 3. Chemical composition of seed of three sunflower genotypes in AFS (D1 to D5 tracks) and SC.....	58
TABLE 4. Grain yield components of three sunflower genotypes in AFS (D1 to D5 tracks) and SC.	60

RESUMO

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs), também chamados de sistemas integrados, representam a abordagem sustentável da integração do uso da terra, possibilitando a utilização racional dos recursos naturais e a melhoria na qualidade de vida do produtor rural. No entanto, carecem de informações sobre o uso potencial e limitações de algumas culturas para constituírem o sistema. O objetivo desse estudo foi avaliar a produtividade da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.), entre as faixas duplas de *Eucalyptus dunnii* Maiden na região de Ponta Grossa, Paraná. O delineamento foi de blocos ao acaso com quatro repetições em cinco posições equidistantes (D1 à D5) entre os renques de eucaliptos [20 m (4 m x 3 m)], e foi conduzido na área experimental da Fazenda Modelo/IAPAR. O experimento controle (D6) consistiu no cultivo solteiro de girassol (CS) em sistema de plantio direto a pleno sol. As cultivares Aguará 04, Catissol e NTO 2.0 foram semeadas a uma densidade de 45.000 plantas ha⁻¹. A adubação de base foi realizada de acordo com a análise de solo e os requerimentos nutricionais da cultura. A fim de caracterizar a área experimental, foram realizados mapas do sombreamento causado pelo eucalipto, monitoradas a Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA) interceptada pelas plantas, e a umidade volumétrica do solo, durante os estádios críticos de desenvolvimento do girassol: abertura da inflorescência (R4), antese (R5) e enchimento de aquênios (R7-R8). O Índice de Área Foliar (IAF) foi obtido pelo método não destrutivo da estimativa da área foliar utilizando-se apenas a maior largura de todas as folhas de 10 plantas em florescimento pleno (R 5.5) por parcela. A incidência de podridão branca, doença causada pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, o diâmetro de capítulos, a altura e a densidade de plantas foram obtidas no momento da colheita. As análises bromatológicas do girassol foram realizadas no laboratório de nutrição animal do IAPAR em Ibiporã. A ANOVA indicou diferenças significativas para as distâncias na RFA incidente entre os renques de eucalipto em R4 e R5. A faixa mais elevada do terreno e próxima ao renque de eucalypto (D5) foi a área mais sombreada, com uma redução na RFA incidente nas parcelas de 57.35% em R4, 62.57% em R5 e 53.05% em R7-R8. Não houve diferenças significativas para umidade do solo, exceto para a avaliação realizada entre R4 e R5 evidenciando maior umidade na faixa central (D3) e na faixa D5 e o maior déficit hídrico no tratamento a pleno sol (CS). A incidência média de *S.sclerotiorum* foi de até 24.85% na faixa D2. O sombreamento provocado pelo eucalipto proporcionou aumento no teor de Proteína Bruta (PB) e no teor de Nutrientes Digestíveis Totais (NDT) dos grãos cultivados no SAF. O maior incremento em PB foi observado para a cultivar NTO 2.0 (23.19%). A cultivar Aguará 04 apresentou o maior conteúdo em extrato etéreo (51.84%) e matéria seca (95.44%) no tratamento a pleno sol (CS). No entanto, o diâmetro de capítulos, a altura de plantas, o IAF e a massa de 1000 aquênios foram afetados negativamente pelo sombreamento. Consequentemente, o rendimento em grãos foi reduzido em aproximadamente 60% no SAF. Sendo assim o cultivo de girassol consorciado com eucalipto com cinco anos de idade mostrou baixo rendimento nessas condições. Contudo, mais estudos são necessários para esclarecer os mecanismos fisiológicos do girassol sob condições de estresse de luz e selecionar genótipos tolerantes as condições microclimáticas dos sistemas integrados.

Palavras-chave: componentes de rendimento, *Eucalyptus dunnii* Maiden, *Helianthus annuus* L., NDT, proteína bruta, radiação fotossinteticamente ativa

SUNFLOWER CULTIVATION IN AGROFORESTRY SYSTEM IN THE SOUTH REGION OF BRAZIL

ABSTRACT

Agroforestry systems (AFS), also known as integrated systems, represent a sustainable approach of integrated land use, which provide the rational use of natural resources and contribute to improve the farmer's livelihoods. However, there is a lack of information about the potential uses and limitations of some crops to integrate the system. The aim of this study was to evaluate the productivity of sunflower grains (*Helianthus annuus* L.), in an alley cropping system, using hybrid *Eucalyptus dunnii* Maiden in Ponta Grossa, Paraná State. The experiment (AFS) was carried out in a split-block randomized block design with four replicates, in five equidistant positions (D1-D5) between two adjacent eucalyptus double line rows [20 m (4 m x 3 m)], at the Agricultural Research Institute of Paraná (IAPAR) experimental station. The control experiment (D6) consisted of sole cropping (SC) in no-tillage system. The genotypes Aguará 4, Catissol and NTO 2.0 were sown at the plant density of 45.000 plants ha⁻¹. Plots were fertilized according to soil testing and sunflower nutrient requirements. In order to characterize the experimental site, we produced shade distribution maps, we measured the Photosynthetically Active Radiation (PAR) incident at the top of sunflower canopy, and the volumetric soil water content, during the critical periods for sunflower growth: floret growth (R4), anthesis (R5) and grain filling (R7-R8). The leaf area index (LAI) was determined by non-destructive measurements of the leaf maximal width, taken on all leaves of ten plants per plot at full flowering (R5.5). The incidence of white rot, a disease caused by the fungus *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary, the head diameter and the plant height were obtained at harvest. The chemical composition analysis was performed in the IAPAR's animal nutrition laboratory. There were statistically significant differences between distances into AFS for PAR means incident during R4 and R5 by ANOVA. The track up the slope nearer to the tree rows (D5) was the most shaded area, with a reduced PAR incident by approximately 57.35% in R4, 62.57% in R5 and 53.05% in R7-R8. There were no significant differences for the mean soil moisture, except for the measurement performed between R4-R5 with increased soil moisture in the middle track (D3) and in D5. The highest water deficit was observed in the SC. The average incidence of *S.sclerotiorum* was up 24.85% in the track D2. Shading caused by eucalyptus showed slight increase in Crude Protein (CP) and Total Digestible Nutrients (TDN) of the grain grown in the AFS. The highest increase in CP was observed for the genotype NTO 2.0 (23.19%). The genotype Aguará 04 showed the highest ether extract (51.84%) and dry matter (95.44%) contents in SC. However, the head diameter, plant height, LAI and 1000 achenes weight were negatively affected by shading. Consequently, grain yield was reduced by up to 60% into AFS. Thus, at this stage of eucalyptus development (five years old trees) the sunflower grown within tree-based intercropping systems indicated a low-yielding environment. Nonetheless, further studies are required to clarify the sunflower physiological mechanisms under light stress conditions and to select genotypes tolerant to microclimate conditions produced by the integrated systems.

Keywords: crude protein, *Eucalyptus dunnii* Maiden, *Helianthus annuus* L., photosynthetically active radiation, TDN, yield components

1. INTRODUÇÃO GERAL

A população mundial está em constante crescimento, mas até o momento, a Terra é o único planeta onde podemos viver. O fato é que seremos mais de 9 bilhões de pessoas em 2050 e vamos depender de um aumento considerável entre 60 e 90% na produção de alimentos utilizando a mesma extensão de terras agrícolas (FAO, 2013a). Isso acarretará inúmeros impactos ambientais dependendo da racionalização da produção agrícola e da conscientização do consumo.

Tendo em vista a problemática global que nos cerca, a produção de culturas agrícolas requer uma nova visão de produção sustentável, fazendo com que os pesquisadores busquem um entendimento mais dinâmico dos fatores que interferem na produção das culturas agrícolas dentro de sistemas integrados contribuindo com soluções para minimizar a competição entre os componentes que constituem os sistemas de produção.

Nesse contexto devemos considerar o potencial do girassol na rotação e sucessão de culturas, devido a sua boa capacidade de aproveitamento dos resíduos das adubações dos cultivos anteriores, aumentando a capacidade de aproveitamento do solo, dos maquinários e dos fatores de produção e a rentabilidade das propriedades agrícolas (SILVA *et al.*, 2011).

A diversificação da produção do girassol em sistema agroflorestal proporciona uma maior renda ao produtor, pois o Paraná apresenta elevado potencial para produção de oleaginosas e de utilização dos subprodutos na alimentação de bovinos de leite.

No entanto, há necessidade de pesquisas a fim de viabilizar a sustentabilidade ambiental, social e econômica desse sistema. Portanto a identificação dos fatores limitantes ao desempenho agrônomo do girassol e a quantificação do seu potencial de rendimento é essencial para o sucesso na recomendação técnica integrando o girassol com o eucalipto.

Considerando a hipótese de que a produção do girassol não é afetada negativamente em sistemas agroflorestais permitindo seu uso nos sistemas integrados, o objetivo geral deste trabalho foi estudar detalhadamente, a viabilidade produtiva de três genótipos de girassol em cultivo com *Eucalyptus dunni* Maiden, com cinco anos de plantio, na região de Ponta Grossa, Paraná. Os objetivos específicos foram: a) quantificar as diferenças de rendimento de aquênios e de óleo em cinco distâncias entre os renques de eucalipto, b) comparar a qualidade nutricional dos aquênios dos três genótipos de girassol em cinco distâncias entre os renques de eucalipto, c) identificar os fatores correlacionados à variabilidade dos rendimentos, e d) relacionar a produtividade do girassol no sistema agroflorestal, com a produtividade obtida do cultivo de girassol a pleno sol (cultivo solteiro).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A CULTURA DO GIRASSOL

2.1.1. Aspectos econômicos e produtivos da cultura do girassol

O girassol é a quarta oleaginosa mais produzida a nível mundial, alcançando uma participação de 8,19% na safra 2011/2012 (USDA, 2013).

Segundo estimativas preliminares da USDA em abril de 2013, a produção mundial de grãos de girassol, para a safra 2012/2013, deverá ser de aproximadamente 36.35 milhões de toneladas, com uma média de rendimento de 1470 kg ha⁻¹. O maior produtor mundial é a Ucrânia (9.0 milhões de toneladas e rendimento médio de 1500 kg ha⁻¹), seguida pela Rússia (7.96 milhões de toneladas e rendimento médio de 1300 kg ha⁻¹) e pela Argentina (3.23 milhões de toneladas e rendimento médio de 1900 kg ha⁻¹).

Os principais estados produtores brasileiros são: Mato Grosso (56.5 mil ton.; 1200 kg ha⁻¹), Goiás (19.5 mil ton.; 1400 kg ha⁻¹), Mato Grosso do Sul (6.3 mil ton.; 1250 kg ha⁻¹), Rio Grande do Sul (4.1 mil ton.; 1250 kg ha⁻¹) e Paraná (1.0 mil ton.; 1380 kg ha⁻¹); entre 1999 e 2011 a produtividade média nacional situou-se em torno de 1500 kg ha⁻¹ (CONAB,2013).

As estimativas para a safra 2012/2013 indicam uma redução de aproximadamente 24.7% na produção nacional do girassol em relação à safra passada, totalizando 86.7 mil toneladas. Dessa forma se a queda esperada na produção de girassol se consolidar, e as condições climáticas ao longo do ciclo do girassol permanecerem instáveis, pode-se inferir que haverá redução na produção brasileira (CONAB,2012).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE, 2011), o Brasil produz em torno de 35 milhões de litros de óleo de girassol, o equivalente a 50% dos cerca de 70 milhões de litros consumidos no país, e, portanto importa aproximadamente 50% de óleo de girassol principalmente da Argentina e do Leste Europeu. Este fato evidencia a necessidade de aumentar a produção nacional para reduzir a dependência do exterior.

Além disso, com o lançamento do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) em 2004, com enfoque na inclusão social e no desenvolvimento regional, via geração de

emprego e renda, aliado a obrigatoriedade de adição de 5% de biodiesel ao diesel a partir de 2010, houve um aumento linear da demanda pela produção de plantas oleaginosas para atender a necessidade de produção de cerca de 2.4 bilhões de litros de biodiesel por ano (MME, 2009). Conseqüentemente, o girassol, que até então não era relevante no cenário agrícola nacional, começou a ganhar espaço conquistando os produtores brasileiros.

Apesar da produção de girassol no Paraná ser relativamente pequena, o estado possui um grande potencial produtivo da oleaginosa devido às características edafoclimáticas favoráveis à cultura (CASTRO; FARIAS, 2005), a diversificação de renda para a agricultura familiar e utilização de subprodutos na alimentação animal (RIBEIRO; RAIHER, 2013).

Com relação ao investimento, o custo de produção do girassol é relativamente baixo. De acordo com o relatório de custo de produção realizado pela Conab (2013) para o estado do Mato Grosso, na safra de 2011, em sistema de plantio direto com alta tecnologia e portanto, uso de semente híbridas, o custo total por hectare foi de R\$1212.31, sendo que o custo fixo representou 7.6% do custo total, as despesas com insumos 41.16%, as operações agrícolas 5.5% e os demais custos 45,74%. Dentre os custos que mais oneraram o custo variável destacaram-se os fertilizantes (42.1%), os herbicidas (12.9%) e as sementes (12.13%).

No mês de dezembro de 2012, os preços recebidos pelos produtores das principais regiões produtoras (Mato Grosso do Sul, Goiás e Mato Grosso) foram em média R\$53.03 a saca de 60 kg. Se comparado com os preços médios recebidos pelos produtores em dezembro de 2011 (R\$46.59), os preços atuais tiveram um aumento de aproximadamente 15.97%. Este aumento é consequência da valorização do dólar frente ao real (CONAB, 2012).

No geral, a cultura apresenta bom rendimento econômico em termos de investimento e retorno permitindo o melhor uso da terra em épocas diferentes das tradicionais.

2.1.2. Ecofisiologia do girassol

O girassol é uma oleaginosa interessante do ponto de vista agrônomo, pois apresenta maior resistência à seca, ao frio e ao calor do que a maioria das espécies anuais normalmente cultivadas no Brasil e, portanto, pode ser cultivado no Brasil desde o Rio Grande do Sul até Roraima, sendo o seu rendimento pouco influenciado pela latitude, pela altitude e pelo fotoperíodo, devido a sua adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, características que tornam essa cultura uma opção viável nos

sistemas de rotação e sucessão de culturas nas regiões produtoras de grãos (CASTRO; FARIAS, 2005).

Goyne e Hammer (1982), afirmam que a duração do ciclo do girassol é afetada basicamente pelos elementos meteorológicos, temperatura do ar, radiação solar e fotoperíodo. No entanto, segundo Robinson (1979), o girassol, por florescer numa larga faixa de comprimento do dia, pode ser considerado pouco sensível ao fotoperíodo.

2.1.3. Estádios fenológicos da cultura do girassol e sua importância

A importância do conhecimento dos estádios fenológicos que definem os componentes do rendimento fornece o suporte para a realização do manejo adequado da cultura, visando evitar ou minimizar as situações de estresse por efeito ambiental durante esses períodos. Por meio da aplicação de corretas práticas agronômicas, nos momentos exatos, é possível adequar a oferta dos fatores ambientais que podem limitar o rendimento da cultura (radiação solar, temperatura, água e nutrientes) nos momentos de maior demanda dos mesmos (AGUIRREZABAL *et al.*, 2001).

A escala que descreve o desenvolvimento do girassol mais utilizada no Brasil é a proposta por Schneiter e Miller (1981), adaptada por Castiglioni *et al.* (1997), citado por Castro e Farias (2005). Esta escala caracteriza a emergência (VE), as fases vegetativas (V1 a Vn), as fases reprodutivas (R1 a R9), a floração (R4 a R6), enchimento de aquênios (R7 a R8) e maturação fisiológica em R9 (ANEXO 2).

2.1.4. Componentes de rendimentos do girassol.

O rendimento do girassol consiste basicamente na produção de grãos e de óleo. No entanto, a comercialização no mercado nacional não leva em consideração a qualidade nutricional dos grãos, baseando-se no peso do grão, embora o objetivo mais relevante da produção de girassol seja a extração de óleo.

De acordo com Aguirrezábal *et al.*,(2001) citados por Thomaz (2008), os componentes de rendimento (número de capítulos por área, número de aquênios por capítulo, peso médio de um aquênio, teor de óleo dos aquênios) são determinados em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do girassol. Sendo assim, o número de primórdios florais por capítulo é definido nos estádios

iniciais de cultivo; o número de flores que são fecundadas é determinado durante a floração; o número de aquênios cheios começa a fixar-se pouco após a floração, podendo ocorrer abortos até mais de 15 dias após o seu término; o peso individual dos aquênios é determinado após a fecundação até a maturação fisiológica e o teor de óleo é determinado no enchimento de aquênios.

2.1.5. A influência da temperatura no desenvolvimento e rendimento da cultura do girassol

O girassol é uma cultura que se adapta bem a diversos ambientes, podendo tolerar temperaturas baixas e períodos de estresse hídrico, sendo assim, durante as fases iniciais de desenvolvimento, até os estádios de quatro a oito folhas, as plantas podem suportar temperaturas baixas por curto período (CASTRO; FARIAS 2005).

No entanto, em temperaturas inferiores a 4 °C e 5 °C não há atividade fisiológica e podem ocorrer distúrbios fisiológicos, como deformação de folhas e morte da gema apical, causando ramificação da inflorescência. Temperaturas baixas, tempo nublado e úmido prolongam o ciclo da cultura, atrasando a floração e a maturação. Portanto, temperaturas baixas geram plantas menores, com menor área foliar, menor número de aquênios e, conseqüentemente, menor potencial produtivo. (CASTRO; FARIAS, 2005).

O fator mais importante para que ocorra a germinação em solos com bom suprimento em água e bem drenados é a temperatura (CONNOR; HALL, 1997).

Baixas temperaturas do solo podem retardar a exploração do solo pelo sistema radicular, principalmente durante o período compreendido entre germinação e o estágio vegetativo de 2 folhas (AGUIRREZABAL *et al.*,2001).

Altas temperaturas aliadas à baixa disponibilidade hídrica são prejudiciais ao desenvolvimento da planta. De acordo com Weiss (1983), citado por Castro e Farias (2005), o girassol tolera a faixa de temperatura de 8 a 34 °C, sem redução significativa da produção, indicando adaptação a regiões com dias quentes e noites frias.

A temperatura ótima para o seu crescimento e desenvolvimento situa-se em 26 °C, e a máxima fica em torno de 40 °C (CONNOR; HALL, 1997). Um aumento gradativo da temperatura, posteriormente a antese, reduziu o rendimento dos aquênios em 17%, o que resultou na redução de rendimento em óleo de até 30% (TRIBOI; BLONDEL, 2002). Temperaturas elevadas durante a formação dos grãos afetam mais seriamente a composição de ácidos graxos que o conteúdo de óleo. Verificou-se uma forte correlação negativa entre o teor do ácido linoléico e o aumento de

temperatura, particularmente durante o período noturno, provoca uma redução acentuada da percentagem de ácido linoléico, aparentemente, devido ao efeito da temperatura sobre a atividade das enzimas dessaturase, que são responsáveis pela conversão de ácido oléico a ácido linoléico. (HARRIS *et al.*, 1978).

Por outro lado, o percentual de ácido oléico foi positivamente relacionado com o aumento na temperatura noturna. O entendimento das interações genótipo x ambiente na composição dos ácidos graxos é importante para melhorar a qualidade nutricional do óleo, pois óleos com alta concentração de ácido oléico são mais estáveis e contribuem para a redução das doenças cardiovasculares (IZQUIERDO *et al.*, 2002).

De acordo com Merrien (1992), citado por Ribeiro (2010), temperaturas amenas limitam o teor de ácido oléico, enquanto que temperaturas altas provocam a redução no teor de ácido linoléico dos aquênios.

A duração do ciclo da cultura é dependente do acúmulo de graus-dias, ou seja, a planta necessita de determinada quantidade de energia, representada pelo somatório de temperaturas acima de um valor base, para completar determinada fase fenológica ou o ciclo total da cultura (THOMAZ, 2008).

Massignam (1987) define a temperatura base de uma cultura como a temperatura abaixo da qual a planta não se desenvolve ou, quando o faz, é em proporções muito reduzidas. Segundo Sentelhas *et al.*, (1994), a temperatura base do girassol é 4.2 °C. Já para Aguirrezábal *et al.*, (2001) em temperaturas abaixo de 8 °C praticamente não há emissão da radícula, para que esta ocorra é necessário o acúmulo de 20 °C dia sobre a temperatura base de 8.5 °C. No entanto, Massignam e Angelocci (1993) verificaram que a temperatura base tem diferentes valores para cada fase de desenvolvimento do girassol.

Os sub-períodos fenológicos compreendidos entre emergência e floração são extremamente dependentes da temperatura. No entanto, o desenvolvimento tem baixa correlação com a temperatura do ar durante o sub-período floração-colheita (MASSIGNAM; ANGELOCCI, 1993 a; MASSIGNAM; ANGELOCCI, 1993 b).

Thomaz *et al.* (2012), estudando o efeito da temperatura do ar, precipitação pluvial e radiação solar em dez épocas de semeadura no rendimento do girassol, verificaram que temperaturas mais baixas na fase vegetativa, maiores precipitações pluviais na floração, e maiores índices de radiação solar na fase vegetativa e de enchimento de aquênios aumentou a produção de aquênios, teor de óleo e produção de óleo nas cultivares de girassol.

2.1.6. Exigências hídricas e o efeito do déficit hídrico

O consumo de água pela cultura do girassol varia em função das diferenças genotípicas, das condições climáticas, da duração do ciclo e do manejo do solo e da cultura. (GRIEU *et al.*, 2008). Dentre os fatores que afetam a produtividade do girassol o clima é o mais difícil de controlar sendo que a precipitação pluviométrica é o fator que mais limita a produção (COX; JOLLIFF, 1986).

Ainda não há uma definição exata das necessidades hídricas do girassol, existindo apenas informações que indicam desde 203.4-304.8 mm (LAMM *et al.*, 2011); 361.2- 672.4 mm (YAWSON *et al.*, 2011); 440-500 mm (DRAGOVIĆ *et al.*, 2012), até mais de 800 mm por ciclo (BERGLUND, 2007).

As exigências hídricas do girassol precisam ser melhor definidas, pois dependem do genótipo, da densidade de plantas no dossel, do comprimento do ciclo, e principalmente das condições meteorológicas do decorrer do ciclo. Entretanto, na maioria dos casos, o suprimento de 500 a 700 mm de água, bem distribuídos ao longo do ciclo, resulta em rendimentos próximos ao máximo. Solos bem preparados, com boa capacidade de armazenamento de água permitem à planta tolerar maiores períodos sem chuva e/ou irrigação (UNGER, 1990).

Embora o girassol seja conhecido como uma cultura tolerante ao estresse hídrico, devido à capacidade do sistema radicular em capturar água em camadas profundas do solo chegando até 2 metros, o bom provisionamento de água durante o ciclo garante o incremento na produtividade (ANDRIA *et al.*, 1995; YAWSON *et al.*, 2011).

O período mais sensível ao estresse hídrico para a cultura do girassol é observado em duas fases de desenvolvimento da planta. A primeira compreende o início da formação do capítulo e o início da floração (final da fase de diferenciação do receptáculo e formação das emergências florais), afeta negativamente o rendimento de aquênios. A segunda compreende o período imediatamente após a floração e início do enchimento dos aquênios. O estresse hídrico durante as fases reduz fortemente o rendimento de óleo (CASTRO; FARIAS, 2005).

Para Castro *et al.* (1996) a fase mais crítica ao déficit hídrico é o período compreendido entre cerca de 10 a 15 dias antes do início do florescimento e 10 a 15 dias após o final. O florescimento é a fase mais sensível ao déficit hídrico, portanto se for necessário o uso da irrigação deve-se priorizar este período. Da mesma forma, Demir *et al.* (2006) sugerem que o uso da irrigação, durante a formação do capítulo, floração e enchimento de grãos, é imprescindível para a obtenção do rendimento máximo no regime de precipitação local. Porém, na impossibilidade de irrigar durante

esses três períodos, deve-se priorizar a floração, pois a maior eficiência no uso da água foi obtida nesse período.

Após o florescimento, quando as folhas atingem o máximo índice de área foliar, a ocorrência de deficiência hídrica afeta severamente as folhas, causando senescência precoce das mesmas. Essa redução no aparato fotossintético reduz fortemente a translocação de fotoassimilados para os grãos, reduzindo o peso dos mesmos, a produtividade e o teor de óleo. O estresse hídrico propicia ainda a incidência e a severidade da deficiência de boro, mais do que qualquer outro micronutriente (CASTRO; FARIAS, 2005).

Castro *et al.* (2006) afirmam que existe uma correlação linear significativa do teor de boro na folha com a produção de aquênios em plantas com ou sem estresse hídrico e que a ocorrência de estresse hídrico a partir do início do florescimento ou no enchimento de aquênios acarreta em menor produção de matéria seca total, de aquênios e de óleo.

Em caso de déficit hídrico permanente, as perdas no rendimento do girassol são devidas mais à redução do número de aquênios cheios por capítulo, do que pelo peso médio dos mesmos (CASTRO; FARIAS, 2005).

Sionit *et al.* (1973), citados por Marin (2010) afirmam que a produção e a qualidade de grãos são negativamente afetadas, ainda que seja pequeno o déficit hídrico na zona radicular, e que o rendimento máximo é alcançado quando o solo encontra-se em capacidade de campo, evidenciando a importância da época de semeadura sobre o rendimento. Portanto, o principal fator que limita o crescimento das culturas é a disponibilidade hídrica no solo.

Em condições de disponibilidade hídrica não limitante, o girassol é capaz de transpirar abundantemente, o que o torna pouco eficiente no consumo de água nessa condição, devido a sua grande capacidade de exploração do sistema radicular, capaz de absorver a água de horizontes mais profundos em solos sem limitação à penetração de raízes, a abundante superfície foliar transpirante e a baixa resistência à condutividade hidráulica da água das raízes até as folhas. Entretanto, em condições de déficit hídrico, a planta consegue manter os rendimentos devido à presença de mecanismos fisiológicos, como sistema radicular profundo e bem desenvolvido lateralmente e sua capacidade de realizar fotossíntese mesmo em condições adversas, que aumentam a eficiência no consumo de água. Estas condições podem variar entre genótipos (AGUIRREZABAL *et al.*, 2001).

Soriano *et al.* (2004), estudando os efeitos da semeadura precoce e tardia do girassol no uso da água, na eficiência do uso da água e no índice de colheita, sob condições limitadas de regime hídrico, concluíram que as plantas semeadas precocemente apresentaram um uso mais eficiente da água devido a melhor adequação do seu dossel às condições climáticas, proporcionando menor evaporação do solo, melhor extração de água do subsolo, e eficiência na captura da radiação.

Quando o estresse hídrico ocorre após o florescimento, ocorre redução da área foliar pela aceleração da senescência das folhas. Quando a seca ocorre nos estádios vegetativos iniciais, a redução da superfície foliar deve-se à uma redução da expansão foliar, mais do que a senescência acelerada das folhas. No entanto, essa redução da superfície foliar pode afetar de maneira negativa o rendimento, se o índice de área foliar for reduzido abaixo de 2.5 na floração (MERRIEN, 1992).

A necessidade de água no girassol é crescente com o desenvolvimento da planta, partindo de valores ao redor de 0.5 a 0.8 mm/dia durante a fase de semeadura à emergência, atingindo um máximo nas fases críticas ao estresse hídrico de 6 a 7 mm/dia na floração e enchimento de grãos, decrescendo após este período (CASTRO; FARIAS, 2005).

2.1.7. A Energia luminosa na produção de girassol

A luz é uma partícula denominada fóton que contém uma quantidade de energia chamada de quantum, cujo plural é o quanta. O conteúdo dessa energia não é contínuo, mas emitido em pequenos “pacotes”, os quanta, sendo então a energia de um fóton dependente da vibração da luz. Portanto, a luz solar pode ser comparada a uma “chuva de fótons” de diferentes frequências (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A vida na terra depende da energia proveniente do sol, desta forma, os organismos fotossintetizantes a utilizam para síntese de compostos carbonados, energia para todos os processos metabólicos celulares. A eficiência energética é a medida da quantidade de energia dos fótons absorvidos que é armazenada como produtos químicos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Segundo Aguirrezabal *et al.* (2001), o girassol é uma planta C3, tanto anatômica como bioquimicamente, mas a resposta do seu aparato fotossintético à intensidade luminosa e à temperatura é similar a uma planta C4.

O girassol caracteriza-se por elevada atividade fotossintética, particularmente em planta jovem, comparada à do milho, que é uma planta C4, e que sob o aspecto metabólico o girassol é uma planta altamente eficiente, considerando o custo energético dos produtos finais, óleo e proteína, bioquimicamente mais caros para o metabolismo celular (CASTRO; FARIAS, 2005).

Além do capítulo, o heliotropismo também ocorre nas folhas jovens, o que melhora a eficiência de captação de luz, aumentando a taxa fotossintética diária em até 23% (SHELL; LANG, 1976, citados por CASTRO; FARIAS, 2005). Este fenômeno ocorre durante todo período da floração plena, sendo resultado de dois movimentos complementares, um de rotação espiralada do

caule e outro de ereção das folhas do capítulo. Pela manhã, o caule encontra-se em posição normal, de frente para o leste; com o aparecimento do sol, começa a girar e faz uma volta de mais de 90 °, para chegar de frente para oeste ao anoitecer. Além disso, existe um segundo movimento, que o capítulo e as folhas superiores realizam: ambos passam de uma posição caída ao amanhecer, para uma posição ereta, ao meio dia, terminando novamente numa posição caída ao anoitecer. Entre o pôr-do-sol e seu aparecimento no dia seguinte, esse processo se realiza em sentido contrário, inclusive com os capítulos e as folhas chegando a uma posição ereta à meia noite. Uma vez terminado o período de floração, os capítulos permanecem virados para o leste até a colheita (ROSSI, 1998).

Na antese, o terço superior das folhas intercepta 93% da radiação fotossinteticamente ativa, contra 4.6% para os dois terços inferiores. A maior parte dos carboidratos utilizados para a síntese de óleo e enchimento de grãos provém da fotossíntese contemporânea a tais processos, e o percentual de óleo é definido durante a etapa de enchimento dos aquênios (AGUIRREZÁBAL *et al.*, 2001).

Existe uma correlação positiva entre o aumento na radiação solar interceptada pela planta durante o enchimento de grãos e o número de aquênios por capítulo e a massa de aquênios. A taxa de enchimento de aquênios depende da capacidade fotossintética da planta durante o enchimento dos mesmos, sendo que, este efeito é maior para os aquênios que estão localizados no centro do capítulo (ANDRADE; FERREIRO, 1996).

A redução de 80% na radiação fotossinteticamente ativa (RFA) durante a pré-antese (14 dias a partir de R2) reduz a massa de aquênios e o número de células cotiledonares; durante a pós-antese (14 dias a partir da floração plena R 5.10) o efeito do sombreamento é de redução no número de aquênios, sendo que, a redução na massa dos aquênios e no número de células cotiledonares ocorre somente para os aquênios localizados na região central do capítulo (LINDSTRÖM *et al.*, 2006)

A RFA interceptada durante o enchimento de grãos é importante na determinação do peso dos aquênios e da produção de óleo no girassol, atingindo uma concentração máxima de óleo nos aquênios a níveis elevados de radiação solar interceptada. A duração do enchimento dos aquênios é dependente da quantidade de radiação interceptada. Sendo assim, a redução da radiação interceptada (uma semana com dias nublados) durante o período de enchimento dos aquênios afetaria mais o peso de aquênios em alguns genótipos do que em outros. Portanto, o peso dos aquênios está diretamente associado à radiação interceptada durante a fase final de floração até a maturação fisiológica (DOSIO *et al.*, 1997; DOSIO *et al.*, 2000)

Do mesmo modo, Aguirrezábal *et al.* (2003) afirmam que uma redução na RFA interceptada durante a fase de enchimento de grãos afeta o peso da semente e a concentração de óleo. No entanto

as folhas inferiores e o caule podem contribuir com até 30% do peso seco final dos frutos, pois podem utilizar parte da energia química e dos minerais acumulados (AGUIRREZÁBAL *et al.*, 2001).

Além disso, a redução na radiação interceptada pelas plantas durante o enchimento de grãos reduz o percentual de ácido oléico nos aquênios e conseqüentemente aumenta a concentração de ácido linoléico e/ou linolênico (IZQUIERDO *et al.*, 2009). Em genótipos transformados por mutagênese para alta concentração em ácido oléico, a redução na radiação interceptada diminuiu de maneira linear o percentual de ácido oléico, ácido palmítico e esteárico e aumentou o teor de ácido linoléico curvilinearmente (MARTINEZ *et al.*, 2012).

A RFA interceptada pelas plantas afeta os componentes de rendimento e a concentração de óleo dos aquênios de genótipos tradicionais através de modificações na disponibilidade de carboidratos assimilados (IZQUIERDO *et al.*, 2009 e ECHARTE *et al.*, 2010).

2.2. SISTEMAS AGROFLORESTAIS: conceito, classificação e importância

A preocupação em definir os Sistemas Agroflorestais (SAFs) surgiu com Bene *et al.* (1977) e Combe e Budowski (1979) especificando a inclusão do componente arbóreo. Posteriormente, Nair (1985) propôs uma definição que é atualmente aceita: SAF representa a abordagem ecológica do uso da terra envolvendo a integração de árvores e/ou espécies lenhosas perenes com cultivos agrícolas anuais, resultando em benefícios econômicos, sociais e ambientais.

Somarriva (1992), após revisar algumas definições de SAFs, obteve a seguinte definição: Sistema Agroflorestal é uma forma de cultivo múltiplo que satisfaz três condições básicas:

1. Pelo menos duas espécies vegetais interagem biologicamente;
2. No mínimo uma das espécies é uma planta perene lenhosa;
3. Pelo menos uma das espécies é uma forrageira e/ou cultura anual ou perene.

Outro conceito elaborado por Dubois (1996) caracteriza os SAFs como sistemas de uso da terra nos quais espécies perenes lenhosas (árvores, arbustos, palmeiras e bambus) são associadas com cultivos agrícolas e/ou animais. Um consórcio pode ser chamado de agroflorestal se contemplar pelo menos uma espécie florestal nativa ou aclimatada, de porte arbóreo ou arbustivo, encontrada de maneira natural ou espontaneamente em florestas ou capoeiras (florestas secundárias).

Segundo Passos e Couto (1997) e; Zou e Sanford (1990), é necessário classificar os sistemas agroflorestais a fim de proporcionar uma estrutura para avaliar os sistemas e desenvolver planos de ação para a sua melhoria.

A classificação realizada por Nair (1985) se baseou nos critérios de arranjo espacial e temporal, na natureza e organização dos componentes, no planejamento da produção e nas funções ecológicas e socioeconômicas dos sistemas.

Estruturalmente, SAF pode ser classificado como: sistemas silviagrícolas [culturas (incluindo espécies arbustivas e trepadoras) e árvores]; sistemas silvipastoris [pastagens/animais e árvores] e sistemas agrossilvipastoris [culturas, pastagens/animais e árvores] (NAIR, 1985).

Levando em consideração o arranjo espacial de plantas, os sistemas podem ser classificados como: mistos adensados (quintais caseiros), sistemas de baixa densidade (agrossilvipastoris), sistemas zonais ou em faixas, microzonais (sistema em ruas ou fileiras alternadas), macrozonais e contínuos (NAIR, 1985).

Considerando o arranjo temporal de plantas, os SAFs são classificados como: sistemas simultâneos [os componentes são associados concomitantemente durante todo o ciclo das culturas (e.g consórcio café – banana – ingá)]; sistemas sequenciais [quando os componentes se sucedem no tempo [e.g sequência pinus - erva-mate – soja] (DEITENBACH *et al.*, 2008)

A fim de ampliar o entendimento das funções ecológicas promovidas pelos SAFs, Scroth *et al.*, (2004) classificaram os sistemas com relação ao potencial de conservação da biodiversidade em: sistemas de estrutura e composição baseadas em árvores do estrato dominante [árvores de copa fechada com maior potencial conservacionista devido a maior tolerância à regeneração de espécies nativas no manejo (e.g SAFs mais complexos formados por seringais (*Hevea brasiliensis*))]; sistemas de estrutura e composição baseadas em árvores do estrato arbustivo [SAFs com grande potencial de conservar a biodiversidade de espécies que dependem de exposição solar e estágios de sucessão (e.g cacau-café-bananeiras)].

Os principais SAFs adotados pelos produtores nas regiões tropicais são: cultivo itinerante “shifting cultivation”, quintal caseiro “homegardens”, “Taungya” e cultivo em aléias “alley cropping” (NAIR, 1985). Este é definido como sistema de produção de árvores e arbustos, de preferência leguminosas de crescimento rápido, estabelecidos em alamedas com o cultivo de espécies agrícolas entre os renques das espécies florestais (KANG, 1993).

Vários autores relataram os benefícios do sistema de cultivo em aléias na conservação de solos, tais como incremento na fertilidade, matéria orgânica, nitrogênio do solo (MULONGOY *et al.*, 1988) e controle de erosão (KANG *et al.*, 1981).

Os primeiros relatos de SAFs no Brasil são atribuídos ao período pré-histórico, no qual os primeiros caçadores e coletores obtinham alimento para subsistência. Ao longo de milênios, os SAFs

evoluíram juntamente com a domesticação das espécies agrícolas e florestais. Além disso, esses sistemas representam grande importância para a população indígena da Amazônia (MILLER; NAIR, 2006) e para a agricultura familiar (SMITH *et al.*, 1996) sendo amplamente apoiados pelo governo brasileiro (DEITENBACH *et al.*, 2008) e pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2013b).

O sistema agroflorestal é uma opção extremamente viável para o pequeno produtor devido à otimização da área, garantia de sustentabilidade do sistema de produção e diversificação de renda, além de incluir o componente arbóreo, que tem um papel importante no fornecimento de produtos como a madeira, mel, produtos medicinais, e benefícios indiretos como a sombra, umidade do ar, temperatura, proteção dos solos e mananciais que estão relacionados ao bem estar e saúde pública (ABDO *et al.*, 2008).

No caso dos pequenos agricultores familiares, a implantação dos SAFs favorece o cumprimento da legislação florestal através da recomposição e manejo sustentável de áreas de reserva legal e de preservação permanente (STEFFANI, 2012).

Não podemos negligenciar o mercado promissor de crédito de carbono que estimula o desenvolvimento dos SAFs, sistemas que sequestram carbono reduzindo a emissão de gases de efeito estufa (GEE), promovendo o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) (NAIR *et al.*, 2009).

O MDL é um instrumento de implementação de projetos de redução de emissão de GEE para gerar os certificados de redução de emissões (CRE), ou seja, certificado de crédito de carbono. Para cada tonelada de CO₂ sequestrado ou mitigado, gera-se um CRE, comercializado, diretamente ou em bolsas de mercadorias e futuros, como título ativo entre empresas e países (SILVA *et al.*, 2012).

Além disso, a crescente demanda mundial por alimentos, fibra e energia é uma grande preocupação, passível de ser solucionada por meio dos SAFs, pois além de atenderem a segurança alimentar e energética no âmbito global, tais sistemas utilizam os recursos naturais de maneira racional, promovendo o desenvolvimento sustentável. Estes sistemas podem melhorar e até aumentar a eficiência de utilização dos recursos naturais, que estão cada vez mais limitados, de maneira a assegurar uma maior diversificação na produção para os consumidores e renda para o produtor.

Os SAFs promovem soluções alternativas de produção, permitindo equilibrar a oferta de produtos agrícolas e florestais, com a prestação de serviços ambientais (PASSOS, 1996). É consensual que os SAFs promovem uma maior eficiência na ciclagem de nutrientes do que as lavouras em monocultivo, além de aumentar o teor de matéria orgânica na camada superficial dos solos sob árvores (CALIL, 2008).

Em silvicultura pode-se utilizar variadas combinações de espécies e quando seus componentes são selecionados e combinados adequadamente, estes sistemas podem ser recomendados para qualquer escala de produção garantindo a eficiência no retorno do capital investido (PASSOS, 1996). Porém, a definição da composição de espécies nesses sistemas deve ser elaborada, considerando a integração entre as espécies, sustentabilidade econômica, impacto sobre a mão-de-obra local, variedades de plantas utilizadas, tratos culturais, logística de transporte, finalidade da produção e distância do mercado consumidor (CARVALHO, 2006).

Pesquisas realizadas por Bertalot *et al.* (2010); Macedo *et al.* (2006); e Rodigueri (1997); em SAFs, têm mostrado ser viável não só o cultivo de diferentes grãos (milho, soja, trigo, e feijão), mas também de espécies forrageiras, o que amplia o espectro de alcance econômico da floresta e aumenta o número de produtos obteníveis a partir dela, ampliando também o número de empregos gerados e a possibilidade de culturas de subsistência.

Ademais, os SAFs promovem o aumento da atividade microbiana no solo em comparação ao monocultivo (ASSIS, 2003); conservação da água e do solo, aumento da produtividade das lavouras (BERTALOT *et al.*, 2008); e conservam a biodiversidade (BOLFE, 2011).

A incorporação dos SAFs no planejamento do uso da terra culmina na preservação da biodiversidade como protetora do valor intrínseco e na manutenção da sua capacidade regenerativa, pelo simples fato de que, nesses sistemas existe maior biodiversidade em relação aos monocultivos. Este fato é confirmado por Assis *et al.* (2003) que afirmam a maior atividade microbiana no cultivo do arroz com o eucalipto do que em arroz em monocultivo.

A precariedade de estudos das interações biofísicas entre os componentes do sistema, poucos conhecimentos sobre os arranjos, combinações de espécies, manejo, alto custo das pesquisas de médio e longo prazo, inadequação dos serviços de extensão rural e baixa disponibilidade de genótipos específicos, são citados como as principais limitações técnicas na implantação de SAFs (ABDO *et al.*, 2008).

Logo, os SAFs requerem pesquisas e políticas que passem inclusive por incentivos aos proprietários que são os que podem garantir o êxito na solução de problemas (PORFÍRIO DA SILVA, 1998).

Pensando nisso, o governo federal, através do decreto nº 7.390/2010 regulamentou o plano para a consolidação da Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC). As ações prioritárias do plano ABC incluem a divulgação, capacitação de técnicos e produtores rurais, transferência de tecnologia e a linha de financiamento denominada “Programa ABC” que consiste em uma linha de

crédito aprovada mediante a resolução BACEN nº 3.896/2010. Os itens financiáveis a juros de 5% ao ano, para a safra 2013/2014 incluem a Recuperação de Pastagens Degradadas; Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF) ; Sistemas Agroflorestais (SAFs); Sistema Plantio Direto (SPD); Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN); e Florestas Plantadas. Na safra 2012/2013 foram disponibilizados R\$ 3.400 milhões com prazo total de até 15 anos e carência de 8 anos para implantação de SAF's. Com isso estima-se um aumento de 4 milhões de hectares de SAFs (MAPA, 2013).

Enfim, os SAFs constituem uma eficiente contribuição para a diversificação, redução de riscos relativos aos fatores sazonais na produção de alimentos e garantia de renda para o produtor rural, necessitando de pesquisas que proponham alternativas de culturas para integrar esses sistemas. Portanto, o estudo do girassol entre renques de eucalipto é de suma importância.

2.3. INTERAÇÕES ENTRE A CULTURA DO GIRASSOL E O EUCALIPTO

Nenhum gênero foi tão largamente plantado a nível mundial como o *Eucalyptus*, devido ao seu múltiplo uso como árvore ornamental em parques e jardins, extração de óleo, produção de mel, produção de madeira serrada, lenha, postes, moirões de cerca, construção civil, fabricação de painéis e indústria de papel e celulose (HIGA *et al.*, 2000).

A crescente demanda do segmento de papel e celulose contribuiu para o incremento da área plantada de *Eucalyptus* no Brasil, totalizando 4.873.952 ha em 2011, o que representa um crescimento de 2.5% em relação à 2010, sendo que as maiores expansões ocorreram nos Estados do Tocantins (37,8%), Mato Grosso do Sul (25,7%), Paraná (16,6%) e Maranhão (9,5%) (ABRAF, 2012).

Em 2011, o Paraná foi responsável pela exportação de 54,8% do volume total (163,3 mil m³) de madeira serrada no Brasil, o que corrobora a importância da produção florestal no Estado (ABRAF, 2012).

Algumas espécies de eucalipto, assim como o girassol, apresentam grande capacidade de adaptação à diferentes condições edafoclimáticas devido as suas características que favorecem a melhor translocação de nutrientes, e capacidade de adaptação em condições de déficit hídrico (CALIL,2008).

Segundo Lima (1996), o eucalipto consome de 800 a 1200 mm de água por ano. Enquanto que o girassol pode consumir até 600 mm ou mais de água ao longo do ciclo (AGUIRREZABAL *et al.*, 2001).

As comparações feitas entre espécies de eucalipto e outras espécies florestais mostram que os plantios de eucalipto no Brasil consomem a mesma quantidade de água que as florestas nativas. No entanto, devido a sua maior eficiência no aproveitamento da água, o eucalipto garante maior produtividade quando comparado a outras culturas (LIMA, 1996).

Segundo Gillespie *et al.* (2000), Jose *et al.* (2000), Reynolds *et al.* (2007), o espaço ocupado pelas árvores pode diminuir o rendimento das culturas agrícolas devido a competição por água, luz e nutrientes entre as espécies que compõem o sistema. Porém a maneira mais efetiva de se determinar se esse tipo de interferência está sendo crítico para a produção agrícola consiste no cálculo do “índice de equivalência de área”, ou seja, verificar se a consorciação das duas espécies produz mais do que seria obtido se as duas espécies fossem cultivadas em monocultivo (LIMA, 1996).

De acordo com Davidson (1993), o eucalipto pode competir fortemente por água, ao utilizar as reservas de água contidas no solo, podendo prejudicar também o crescimento de outras espécies, somente em áreas cuja precipitação pluviométrica é inferior a 400 mm/ano. Em regiões onde ocorre maior volume pluviométrico, portanto, o eucalipto, por receber mais água do que aquilo que consome, não secaria o solo. De modo geral, as linhas de eucalipto interceptam de 11% a 20% da precipitação pluviométrica da área onde se inserem.

A precariedade de estudos das interações biofísicas entre os componentes do sistema, poucos conhecimentos sobre os arranjos, combinações de espécies, manejo, inadequação dos serviços de extensão rural e pequena disponibilidade de genótipos específicos são as principais limitações técnicas para a implantação de SAFs (ABDO *et al.*, 2008).

No Paraná, o cultivo de eucalipto situa-se em áreas com precipitação pluviométrica anual superior à 1000 mm. Portanto, mesmo com grande volume de água consumido pelos renques, não é esperado que ocorra déficit hídrico nestas regiões (PALUDZYSZYN *et al.*, 2006).

A demanda por nutrientes, principalmente nitrogênio, é maior até a formação da copa, sendo todo nutriente absorvido do solo. Após o estabelecimento da copa, a ciclagem de nutrientes da serapilheira para o solo é a forma mais importante de fornecimento de nutrientes para o eucalipto (NOVAIS *et al.*, 1990).

Davidson (1995) afirma que o eucalipto consome menos nutrientes por quantidade de madeira produzida do que outras culturas agrícolas, sendo, portanto, eficiente também no consumo de nutrientes.

O Eucalipto contribui para a ciclagem de nutrientes, pois, a partir do 2º ano, ocorre a queda de muitas de suas folhas e galhos finos e a partir do 3º ano as cascas também começam a cair. Estudos revelam que as plantas de eucalipto retornam para o solo entre 60% a 70% do nitrogênio absorvido do solo, entre 35% a 60% do fósforo, entre 55% a 80% do potássio, entre 40% a 60% do cálcio e 55% a 70% do magnésio (POORE; FRIES,1985).

A interação entre o eucalipto e girassol pode ser positiva. As folhas do eucalipto liberam substâncias alelopáticas para o crescimento de algumas plantas daninhas e são eficazes no combate do nematóide *Meloidogyne incógnita*, cujo ataque é altamente agressivo no girassol culminando na redução do rendimento da cultura (EL-ROKIEK; EL-NAGDI, 2011).

Westman (2010), estudando o crescimento do eucalipto, consorciado com diferentes culturas agrícolas, em sistema agroflorestal, concluiu que o tratamento incluindo a cultura do girassol promoveu o incremento de até 40% da produção de madeira durante os primeiros 16 meses do ciclo produtivo, o que favorece o desenvolvimento rural e aumenta a renda para o produtor.

Além disso, as floradas de eucalipto e das lavouras de girassol desempenham uma função de destaque para a apicultura, que é uma atividade relevante para a sustentabilidade do agronegócio em municípios com uma grande concentração de agricultores familiares. (OLIVEIRA, 2007), como é o caso da região centro-sul do Estado do Paraná (ASSIS; ROMEIRO, 2005).

Com relação ao microclima, os renques de eucalipto geram um ambiente composto por: elevada umidade, pouca luz solar, temperaturas mais baixas e moderação dos picos de temperatura (POORE; FRIES,1985). Este fato pode afetar o desenvolvimento das culturas anuais, e no caso específico do girassol, principalmente pela redução na radiação fotossinteticamente ativa que chega no dossel.

3. CAPITULO I

Growth, yield components and Sclerotinia incidence of sunflower in an alley cropping system in Brazil.

A.C.V. Oliveira^{a*}, A. de Moraes^a, M.F.S. Ribeiro^b, V.P. Silva^c, C.R. Lang^a, E.B. Oliveira^c,

^a Federal University of Paraná, Crop Production Department, Rua dos Funcionários, 1540, 80.035-050, Curitiba, Brazil.

^b Agricultural Research Institute of Paraná, Rod. do Café, km 496, Post Office Box 129 – 84.001-970, Ponta Grossa, Brazil.

^c Embrapa Forestry, Post Office Box 319, CEP 83.411-000, Colombo, Paraná, Brazil

* Corresponding author: Tel.: +55 41 98 21 22 78.

E-mail address: ana.acvo@ufpr.br (A.C.V. Oliveira).

ABSTRACT

Agroforestry system is being proposed as an alternative to overcome the food security challenges. However, the tree-crop-interaction knowledge for understanding and managing the system is limited. We tested three genotypes of sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown in alleys between eucalyptus tree rows (*Eucalyptus dunnii* M.) in the south of Brazil. The aim of this study was to investigate microclimate modification effects on sunflower growth, yield components and Sclerotinia incidence. The experimental treatments were three sunflower genotypes (Aguara 04, Catissol, NTO 2.0) and two systems (no-till sunflower monocropping (NTM) and Alley cropping (ACS) with 5 equidistant positions between two rows of eucalyptus). At the top of sunflower canopies shaded by eucalyptus, photosynthetically active radiation (PAR) was reduced by 62.57%. Shading reduced head diameter, plant height and grain weight, resulting in yield losses by up to 60%. The microclimate of alley cropping was suitable for *Sclerotinia sclerotiorum* incidence. At this stage of Eucalyptus development (5 year old trees), influence of reduction incident PAR on crop yield seems to be the main competitive factor.

Key words: agroforestry, PAR, shading, sunflower yield components, tree-crop interface, resource competition

1. Introduction

Agroforestry system has emerged as an alternative to sustainable agricultural practices. In this context, alley cropping, perennial trees and/or shrubs intercropping with annual agronomic crops, is becoming a popular agroforestry system as well as environmentally benign due to provide ecosystem services, social and economic benefits (Benjamin et al, 2000; Shibu, 2009).

However, some interactions occur in this system: trees and crops may compete for light, water, and nutrients, resulting in greater loss by annual crop yield (Kang, 1993). This complexity of the system is the overall reason for low alley cropping adoption (David, 1995). In contrast, some agronomic management practices such as root pruning, thinning, selection and use of species and genotypes well adapted to harsh conditions could overcome resource competition between crops and trees (Miller and Pallardy, 2001).

Sunflowers (*Helianthus annuus L.*) are grown in many regions of the world, but South America has the only sunflower belt (Leff et al., 2004). In Brazil, sunflower has been receiving increasing attention as a potential crop for biodiesel production (Porte et al, 2010; Lopes and Neto, 2011). Likewise, the potential health benefits associated with the consumption of sunflower oil increased interest in the crop (Carvalho et al, 2006).

Despite the importance of alley cropping system to provide several benefits (Ngambeki, 1985; Quinkenstein et al, 2009), it has been cited as causing shade and thereby reducing yield of associated crops (Corlett et al, 1992; Burner, 2003).

Daniel et al. (1991) measured the interaction between the perennial pigeonpea and annual crops (sorghum, sunflower and chickpea) at the tree-crop interface and concluded that the significant reduction in the growth of annual crops was associated with the shading by the taller pigeonpea.

According to Lindström et al. (2006) pre and post-anthesis shading reduced pericarp weight, fruit volume and total yield per plant. Low radiation can affect grain yield through its effects on both grain unit weight and grain number (Cantagallo et al, 2004). A reduction in intercepted PAR, during seed filling, affected weight per seed and oil concentration (Dosio et al, 2000; Aguirrezabal et al 2003). Shading during the floret differentiation interval can irreversibly reduce grain number and sunflower yield (Cantagallo and Hall, 2002). Sunflower is sensitive to shading post-anthesis stages attributable to abortion of the embryos in the early stages of development, than probably reflects the decline in sunflower yield (Cantagallo et al 1997). These authors reported that shading is a major factor causing sunflower yield reductions.

In addition *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary is a common, widespread and one of the most important pathogens of sunflower (Becelaere and Miller, 2004). Moisture, high relative

humidity and moderate temperatures in alley cropping systems play a key role on the incidence and severity of diseases, also reducing crop yield (Koech and Whitbread, 2000).

The present study was taken up to evaluate the effects of eucalyptus tree competition on sunflower growth, yield components and *Sclerotinia* incidence. We hypothesized that sunflower production would be more negatively affected near the tree rows than in the center of the alleys because of competition for light and soil resources.

2. Material and Methods

2.1. Description of the study area and experimental design

The NTM and ACS experiments were conducted at the experimental farm “Fazenda Modelo” of the Agricultural Research Institute of Paraná (IAPAR), located in Ponta Grossa, Paraná State, Brazil (25°06'24''S and 50°02' 33''W, 1019 m altitude). The climate is classified as Cfb (temperate with mild summer), with an average annual rainfall of 1700 mm and annual temperature of 17,5°.

According to the USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010), the experimental plots were performed on Oxisoil Perox Haploperox, with wavy soft relief phase (4-8% slope). A total of 192 soil subsamples were collected at random over the experimental area, on May, 2011 at 0-0.20 m depth, and bulked to form six homogeneous composite samples. Soil characteristics are given in Table 1.

In 2007, a long-term alley cropping research experiment was initiated at the IAPAR experimental farm by planting *Eucalyptus dunnii* Maiden in double line tracks. Tree rows were oriented north-south (N-S) axis. NTM represents sunflower monocropping in no tillage system without trees and was disposed close to the ACS (less than 200 m). Previously, both systems were areas of native grassland and had similar biodiversity.

The experiments were carried out in a split-block in a randomized complete block design, with four replicates and six positions: five positions between two eucalyptus rows into ACS (D1-D5) and one outside the system as NTM (D6) (Figure 1). Thus, the full experimental design consisted of a full factorial array of three sunflower cultivars x five distances replicated four times (N= 60) for the ACS , and three sunflower cultivars x one distance in four repetitions for the control (N=12).

The tracks of trees were placed in levels with guideline on the slope, whose the space between two adjacent tree tracks is 20 m, the distance between two adjacent rows in a track is 4 m, and the distance of two trees in a row is 3 m [20 m (4 m x 3 m)].

2.2. Plant material, crop-tree management and treatments

During the summer 2010, the corn (*Zea mays* L.) was grown and then, the black oat (*Avena strigosa* Schreb.) was sown as winter cover crop.

In order to increase light penetration on the crop canopy, some eucalyptus trees were thinned (from 278 to 166 trees ha⁻¹), on August 24, 2011, and the remaining trees had their branches pruned to half of trees height. The average tree height and diameter breast height on December 2011 were 17.41 m and 21.22 cm, respectively.

A week before sowing the sunflower, glyphosate (0.7 kg ae ha⁻¹) was applied to eliminate remaining weeds from the preceding crop.

Three commercial sunflower genotypes, Aguara 04 (Atlântica Sementes), Catissol (CATI/DSMM) and NTO 2.0 (Dow Agrosiences) were sown on August 26, 2011 in a plot of 5 rows of 5 m long, spaced 0.7 m between rows and 0.3 m between plants. The plots into the ACS were arranged in five tracks D1: 4.6 m, D2: 8.2m, D3: 11.8m, D4: 8.2m, D5: 4.6m meters away from the rows of eucalyptus.

The cultivars vary in seed yield and seed oil concentration. Aguara 04 is a simple black hull hybrid, high oil concentration cultivar. Catissol is a black hull variety, medium seed yield and seed oil concentration cultivar. NTO 2.0 is a simple striped hull hybrid, very high oil yield, Sclerotinia resistant cultivar.

Sowing and fertilization was done by hand at the recommended density of 45.000 plants ha⁻¹ and the total amount of 800 kg ha⁻¹ of the fertilizer formula 04-30-10 (N-P₂O₅-K₂O) respectively. A month after sowing, 30 kg ha⁻¹ of ammonium sulfate and 2 kg ha⁻¹ of Borax was applied. The weeds were controlled by hand-pulling and hoeing, during mid-vegetative growth stages (V6 and V10). Before the physiological maturity, sunflower heads were covered with polypropylene bags to prevent attacks of birds. Pruning shears were used for harvesting the sunflower head.

2.3 Sampling, measurements and observations

2.3.1 Weather database

To characterize local conditions, we used meteorological data collected from SIMEPAR's weather station in Ponta Grossa, located 25 km from the experimental site, during the sunflower season.

2.3.2. Soil Moisture

During mid-vegetative sunflower development (V4), soil moisture content was determined gravimetrically through oven drying at 105 °C to a constant weight (24 hours), at two depths (0-10 and 10-20 cm) for all sample locations, on September 19, 2011. No intervening rain occurred between September 17 and September 20.

Volumetric soil water content were estimated at 0-20 cm using an electronic meter of soil moisture (Hidrofarm, Falker Devices Inc, Rio Grande do Sul, RS, Brazil). Three measurements were made in each plot at floret growth, anthesis and grain filling.

2.3.3. Photosynthetically active radiation (PAR)

The fraction of incidence PAR (400-700 nm) were measured between 08:00 h and 18:00 h with ceptometer (AccuPAR, Decagon Devices Inc, Pullman, WA, USA) above the sunflower canopy at floret growth, anthesis and grain filling. Measurements were repeated at four blocks at each distance and plot from the eucalyptus row.

Only ceptometer measurements taken on sunny days in each plot were used (the optimal condition for this instrument).

2.3.4. Shade gradient into ACS

Each plot was divided into a rectangular grid consisting of 4 rows and 5 columns with a total area of 20 m². Some observations on the behavior of eucalyptus trees to shade the crop were made between 08:00h and 18:00h. Thus, was established a shade gradient from 0 to 100% cover beneath the plant canopy.

2.3.5. Leaf Area Index (LAI)

At mid-flowering (stage R5.5) green leaf area (LA , cm²) was determined by non-destructive measurements of the leaf maximal width (Wi , cm), using the follow linear power equation: $LA = 1.7582 Wi^{1.7067}$ (Maldaner et al., 2009).

Measurements of Wi were taken on all leaves of ten plants per plot (randomly selected) in the two center rows. The LAI of each plot was estimate by the ratio between the average LA per plot and the ground surface area occupied per each plant (Jonckheere et al., 2004).

2.3.6. Growth , Yield Components and *Sclerotinia Sclerotiorum* incidence

At harvesting, the height of plants, the heads diameter and the number of plants attacked by *S. sclerotiorum* were determined for ten plants per plot (randomly selected) in the two center rows.

Afterwards, the heads were dried at 65 °C for 72 h, threshed and weighed. Then subsample of 1000 achenes per plot was taken and weighed. Thus, yield was calculated and then adjusted at 11% achene moisture contents.

2.3 Statistical analysis

The data were statistically analyzed using the framework split block design, in the General Linear Models procedure of Statistica 8.0 for Windows (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA), with the following factors: the three genotypes and the positions (five positions between two eucalyptus tracks and NTM). The normality of the residuals was verified by the Shapiro-Wilk test at $\alpha = 0.01$ significance. Then, analysis of variance (ANOVA, $\alpha = 0.05$) were used to test the effect of tree distances on genotypes growth, yield and *S.sclerotiorum* incidence. The block and its interactions were treated as random effects.

Afterwards, the means were compared using Duncan test, considering treatment effects at $\alpha = 0.05$ significance. Simple regression analyses for linear, quadratic and cubic polynomial degrees were determined for the significant positions effects inside ACS. The mathematical models were chosen according to the higher determination coefficients and the lowest value of significance.

Contour maps of PAR were produced using Statistica software. Data were grouped into three periods: AM (08:00–11:00 h), Noon (12:00–14:00 h), and PM (15:00-18:00 h).

A scatter plot was made to show at a glance whether a relationship exists between PAR ($\mu\text{Mol}/\text{m}^2\text{S}$) and shading (%).The degree of association between this variables was estimated by linear regression models.

3.Results

3.1 Growing season conditions

The Rainfall during the crop season was 1040.6 ± 18.23 mm (Figure 2). The daily rainfall showed a sharply tendency to increase during the early reproductive growth stage (85 DAS) to physiological maturity (148 DAS). The mean of the maximum and minimum daily temperature

during the crop season was 24.5 ± 4.48 °C and 12.9 ± 3.56 °C respectively. The average daily relative humidity was 77.81 ± 10.04 % and the mean daily global solar radiation was 218.28 ± 86.57 (W m⁻²) (Figure 3).

Despite widely ranging mean values for soil moisture in all measurements, only significant differences ($P < 0.01$) for measurement on pre anthesis of volumetric soil moisture were observed (Figure 4).

Soil moisture content in 0-20 cm depth was generally higher in ACS compared with NTM system. With a few exceptions, soil moisture in the track D5 tends to increase with PAR reduction.

3.2 PAR available to plants

Our results showed that 5-year-old eucalyptus trees shading reduced the incoming PAR above the sunflower canopy by 57.37% during floret growth, 62.57% during anthesis and 53.05% during grain filling (track D5).

We observed a statistically significant correlation between PAR and shading ($P < 0.001$). These variables were negatively correlated ($r = -0.80$, $R^2 = 0.64$) (figure 5).

The contour maps allowed us to visualize how changes in PAR could affect sunflower growth and yield in each distance between the eucalyptus rows along the day, as well as to compare PAR incident into the systems (Figure 6).

The daily distribution of PAR varied with distance from eucalyptus rows. Overall, presence of trees significantly reduced PAR ($P < 0.001$). Trees produced a shadow early in the day and in the afternoon at sunflower plots near the tree rows (tracks D1 and D5). However, the measured incident PAR was lowest at track D5, consistent with the microrelief (the highest elevation area).

There were statistically significant differences between distances into ACS for PAR means incident during floret growth and anthesis by ANOVA.

3.3 Growth, Yield Components and *Sclerotinia Sclerotiorum* incidence

Since there was no genotype (G) x distance (D) interaction for the growth variables and *S. sclerotiorum* incidence, only the average results for both genotypes in each experiment are presented (Table 2).

Shading caused by eucalyptus reduced the head diameter, plant height, LAI, 1000-achenes weight. In contrast, shading increased *S. Sclerotiorum* incidence by up to 70.5% of the plants in the useful area of the plot (ACS) in relation to the NTM system. Consequently, the yield (kg ha⁻¹) was

markedly depressed to about 60% of the control (NTM), when plants were submitted to heavy shading (Track D5).

The analysis of variance detected significant differences in *S. Sclerotiorum* incidence between the two cropping systems ($P < 0.05$). The *S. Sclerotiorum* incidence was 1.94 % in the NTM (about 12 times lower than the *S. sclerotiorum* incidence into the ACS). The Highest incidence was observed in the tracks D2 and D3, which reached 24.85 % and 24.56% respectively. The lowest incidence into ACS was detected in the track D5 (14.71%) (Figure 7f).

There was GxD interaction ($P < 0.01$) only for the variables 1000-achene weight and yield in comparison between ACS and NTM. The hybrid NTO 2.0 showed the highest 1000-achenes weight and the highest yield (kg ha^{-1}) in NTM. Inside ACS, the regression analysis denoted the quadratic polynomial degree effect, which the plant height, LAI, head diameter, 1000 achenes weight and yield were negatively affected by distance from eucaliptus rows (tracks D1 and D5). Taking into account the microrelief between two tree tracks, sunflower from the highest elevation (track D5) showed the lower plant weight, LAI, head diameter, 1000 achenes weight and grain yield than the slope (track D1) (figure 7). The cultivars reached a maximum yield (kg ha^{-1}) in the track D3 (Figure 7d).

Differences in growth variables and *S. Sclerotiorum* incidence among cultivars were not statistically significant ($P > 0.05$) for each experiment (Table 2).

The LAI was similar for all cultivars in each experiment. No differences were found between LAI in NTM and in the track D3 (ACS). LAI were negatively affected by the presence of the trees ($P < 0.001$), which the minimal values were found in the tracks D1 and D5 (Figure 7b).

4. Discussion

For the purpose of this study it is assumed the summer season rainfall (1040.6 mm) and crop nutrition during crop growth stages was suitable for sunflower growth.

Sunflower is known as a drought tolerant crop, under dryland conditions, before anthesis, the crop regulates transpiration by reduction of interception of radiation (IR) mediated by reduced leaf expansion. The regulation of transpiration of sunflower, subjected to water stress after anthesis, seems to be an interplay between reduced IR, by faster leaf senescence and wilting, and reduced canopy conductance (Demir et al., 2006).

The LAI value reflects plant water status and potential photosynthesis. The LAI maximum of sunflower growing under no limiting conditions is 4.5 (Cox and Jolliff, 1986). In contrast, the LAI obtained for sunflower under water stress, during the period between anthesis and grain filling, is 3.5 (critical period 60-80 DAS) (Mailhol et al., 1997).

In our study, LAI values ranged from 4.98 (track D5) to 6.66 (track D3) into ACS and 6.76 in NTM (control). Even under shading, the LAI overcome the LAI maximum obtained from literature under ideal conditions. Therefore, it appears that competition for light, within 4 m of tree rows was the main factor that negatively affected LAI and consequently reduced sunflower growth and yield.

Furthermore, when plants were well-watered and grown under optimum nutritional condition, the sunflower seed number per area was directly correlated to daily average solar radiation from floret growth to grain filling (Cantagallo et al., 1997). Thus, sunflower seed number responds to variations in radiation over a broad developmental window running from floral initiation through to grain filling (Cantagallo et al., 2002).

In common with other studies, we found negative effects of shading on sunflower growth and yield (Aguirrezábal et al., 2003; Cantagallo et al., 2004; Lindström et al., 2006). These researchers underline the linear relationship between PAR interception and sunflower yield response.

The eucalyptus shading reduced the PAR incidence during growth floret which resulted a reduction in head diameter. This response may reflect on both grain weight and grain number probably due to flower abortion, direct effects on ovary size, restrictions in assimilate supply after shading or interations of these effects (Cantagallo et al., 2004).

Light reduction produced by neighboring vegetation shade in crop is characterized by a low red to far-red (R/FR) ratio and low photosynthetically active radiation (PAR) (Smith and Whitelam, 1997; Smith, 2000). For this reason, plants grown under canopy shade or in the shade of neighbouring, will usually have reduced leaf growth as well as elongated internode growth (Smith, 2000).

As expected, sunflower seed weight was most adversely affected by low light intensity during grain filling (Aguirrezábal et al., 2003, Izquierdo et al., 2008).

Meanwhile, some researchers have investigated the effects of tree competition on crop yield such as following: corn (Miller and Pallardy, 2001) and soybean (Rivest et al., 2009). In general, tree competition significantly reduced PAR interception, net assimilation, growth and yield of the both crops in the tracks near trees (Reynolds et al., 2007)

In addition, alley cropping systems produce microclimate changes especially on positions close to trees, which are most affected by their shade, and this may influence the development of crop diseases (Schroth et al., 2000).

Possibly, shading by trees could alter the microclimate and create conditions favorable for *S. sclerotiorum* incidence. Thus, sunflowers grown in ACS were exposed under lower light levels, lower temperatures but higher relative humidities, which are ideal conditions for infection of

sunflowers. Sporulation and infection by *S. sclerotiorum* requires moisture (40 hours of continuous wetness) and moderate temperatures (Huber and Gillespie, 1992).

Although the trees may adversely affect yield crop, the properly choice of tree and crop species combinations could maximize and diversify farm income (Thevathan et al., 2004). This approach must to include the tree-crop management issues.

5. Conclusions

Alley cropping system consistently created favorable conditions to *S. Sclerotiorum* attacks on sunflower head.

Finally, competition for light seems likely to be the main factor that drastically reduced sunflower growth and yield at this stage of eucalyptus development.

Nonetheless, further research is required to bridge the gap between the sunflower ecophysiology and the crop-tree interface management including more seasons and wide alleys.

Acknowledgements

The authors wish to thank Ranieri Ramos Nogueira, Leonardo Deiss and the farm staff for all their help with data and sample collection. This work was supported by the IAPAR, Federal University of Paraná (UFPR), Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), and Funding Authority for Studies and Projects (FINEP). The Project resulted from cooperation agreement SAIC / AJU No. 21500.10/0008-2 between IAPAR and Embrapa Florestas.

References

- Aguirrezábal, L.A.N., Lavaud, Y., Dosio, G.A.A., Izquierdo, N. G., Andrade, F.H., González L.M., 2003. Intercepted Solar Radiation during Seed Filling Determines Sunflower Weight per Seed and Oil Concentration. *Crop Science* 43, 152-161.
- Becelaere, G.V., Miller, J.F., 2004. Combining ability for resistance to Sclerotinia head rot in sunflower. *Crop Science* 44, 1542-1545.
- Benjamin, T. J., Hoover, W. L., Seifert, J. R., Gillespie, A. R., 2000. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA: 4. The economic return of ecological knowledge. *Agroforestry Systems* 48, 79-93.
- Burner, D.M., 2003. Influence of alley crop environment on orchardgrass and tall fescue herbage. *Agronomy Journal* 95, 1163-1171.
- Cantagallo, J.E., Chimenti, C.A., Hall, A.J., 1997. Number of seeds per unit area in sunflower correlates well with a photothermal quotient. *Crop Science* 37, 1780-1786.
- Cantagallo, J.E., Hall, A.J., 2002. Seed number in sunflower as affected by light stress during the floret differentiation interval. *Field Crops Research* 74, 173-181.
- Cantagallo, J.E., Medan, D., Hall, A.J., 2004. Grain number in sunflower as affected by shading during floret growth, anthesis and grain setting. *Field Crops Research* 85, 191-202.
- Carvalho, I.S., Miranda, I., Pereira, H., 2006. Evaluation of oil composition of some crops suitable for human nutrition. *Industrial Crops and Products* 24, 75-78.
- Corlett, J.E., Black, C.R., Ong, C.K., Monteith, J.L., 1992. Above-and below-ground interactions in a leucaena/millet alley cropping system. II. Light interception and dry matter production. *Agricultural and Forest Meteorology* 60, 73-91.
- Cox, W.J., Jolliff, G.D., 1986. Growth and yield of sunflower and soybean under soil water deficits. *Agronomy Journal* 78, 226-230.
- Daniel, J.N., Ong, C.K., Kumar, M.S., 1991. Growth and resource utilization of perennial pigeonpea (*Cajanus cajan* (L) Millsp.) at the tree-crop interface. *Agroforestry Systems* 16, 177-192.
- David, S., 1995. What do farmers think? Farmer evaluations of hedgerow intercropping under semi-arid conditions. *Agroforestry Systems* 32, 15-28.
- Demir, A.O., Göksoy, A.T., Büyükcangaz, H., Turan, Z.M., Köksal, E.S., 2006. Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. *Irrigation Science* 24, 279-289.
- Dosio, G.A.A., Aguirrezábal, L.A.N., Andrade, F.H., Pereyra, V.R., 2000. Solar radiation intercepted during seed filling and oil production in two sunflower hybrids. *Crop Science* 40, 1637-1644.
- Izquierdo, N.G., Dosio, G.A.A., Cantarero, M., Luján, J., Aguirrezábal, L.A.N., 2008. Weight per grain, oil concentration, and solar radiation intercepted during grain filling in black hull and striped hull sunflower hybrids. *Crop Science* 48, 688-699.
- Jonckheere, I., Fleck S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., Baret, F., 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology* 12, 19-35.
- Kang, B.T., 1993. Alley cropping: past achievements and future directions. *Agroforestry Systems* 23, 141-155.
- Koech, E.K., Whitbread, R., 2000. Disease incidence and severity on beans in alleys between Leucaena hedgerows in Kenya. *Agroforestry Systems* 49, 85-101.
- Huber, L., Gillespie, T.J., 1992. Modeling leaf wetness in relation to plant disease epidemiology. *Annual Review of Phytopathology* 30, 553-577.
- Leff, B., Ramankutty, N., Foley, J.A., 2004. Geographic distribution of major crops across the world. *Global Biogeochemical cycles* 18, 1-27.

- Lindström, L.I., Pellegrini, C.N., Aguirrezábal, L.A.N., Hernández, L.F., 2006. Growth and development of sunflower fruits under shade during pre and early post-anthesis period. *Field Crops Research* 96, 151-159.
- Lopes, D.C., Neto, A.J.S., 2011. Potential crops for biodiesel production in Brazil: A review. *World Journal of Agricultural Sciences* 7, 206-217.
- Mailhol, J.C., Olufayo, A.A., Ruelle, P., 1997. Sorghum and sunflower evapotranspiration and yield from simulated leaf area index. *Agricultural Water Management* 35, 167-182.
- Maldaner, I. C., Heldwein A.B., Loose, L. H., Lucas, D.D.P., Guse, F. I., Bortoluzzi, M. P., 2009. Models for estimating leaf area in sunflower. *Ciência Rural* 39, 1356-1361.
- Miller, A. W., Pallardy, S. G., 2001. Resource competition across the crop-tree interface in a maize-silver maple temperate alley cropping stand in Missouri. *Agroforestry Systems* 53, 247-259.
- Ngambeki, D.S., 1985. Economic evaluation of alley cropping leucaena with Maize-Maize and Maize-Cowpea in Southern Nigeria. *Agricultural Systems* 17, 243-258.
- Porte, A.F., Schneider, R.C.S., Kaercher, J.A., Klamt, R.A., Schmatz, W.L., Silva, W.L.T., Filho, W.A.S.F., 2010. Sunflower biodiesel production and application in family farms in Brazil. *Fuel* 12, 3718-3724.
- Quinkenstein, A.; Wöllecke, J.; Böhm, C.; Grünwald, H.; Freese, D.; Schneider, B. U.; Hüttl, R., 2009. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental Science & Policy* 12, 1112-1121.
- Reynolds, P.E., Simpson, J.A., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., 2007. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. *Ecological engineering* 29, 362-371.
- Rivest, D., Cogliastro, A., Vanasse, A., Olivier, A., 2009. Production of soybean associated with different hybrid poplar clones in a tree-based intercropping system in southwestern Québec, Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 131, 51-60.
- Schroth, G., Krauss, U., Gasparotto, L., Duarte, J.A., Vohland, K., 2000. Pests and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. *Agroforestry Systems* 50, 199-241.
- Shibu, J., 2009. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforest Systems* 76, 1-10.
- Smith, H., Whitelam, G.C., 1997. The shade avoidance syndrome: multiple responses mediated by multiple phytochromes. *Plant, Cell and Environment* 20, 840-844.
- Smith, H., 2000. Phytochromes and light signal perception by plants: an emerging synthesis. *Nature* 407, 585-591.
- Soil Survey Staff 2010. *Keys to Soil Taxonomy*, 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems* 61, 257-268.

Table 1

Chemical soil analysis of samples collected in the 0-20cm layer, in the five tracks in alley cropping system (ACS) and in the no-till (NT).

ACS Tracks	pH	Al ⁺³	H ⁺ +AL ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	P	C	Clay
	CaCl ₂	cmolc dm ⁻³					mg dm ⁻³	g dm ⁻³	g kg ⁻¹
D1	4.58	0.38	5.53	2.18	2.05	0.14	8.18	26.38	450.00
D2	4.93	0.13	4.35	3.03	2.58	0.09	3.85	27.98	462.50
D3	4.98	0.05	4.15	3.03	2.38	0.11	5.88	27.25	443.75
D4	5.03	0.10	4.08	3.43	3.00	0.10	6.03	24.58	456.25
D5	4.90	0.10	4.38	2.40	2.08	0.11	5.83	25.13	456.25
Mean ^a	4.88	0.15	4.50	2.81	2.42	0.11	5.95	26.26	453.75
CV% ^a	6.36	144.28	19.69	34.79	34.28	52.12	85.10	13.68	14.42
NTM(D6)	5.20	0.02	3.95	4.38	2.81	0.16	10.11	26.83	416.67
Mean ^b	4.93	0.13	4.40	3.07	2.48	0.12	6.65	26.36	447.57
CV% ^b	6.28	183.16	18.62	34.16	28.62	45.64	90.65	11.99	11.44

^a Refers to the five tracks: D1: 4.6 m, D2: 8.2m, D3: 11.8m, D4: 8.2m, D5: 4.6m between the eucalyptus rows.

^b Mean and coefficient of variation (CV%) including no-till monocropping (NTM).

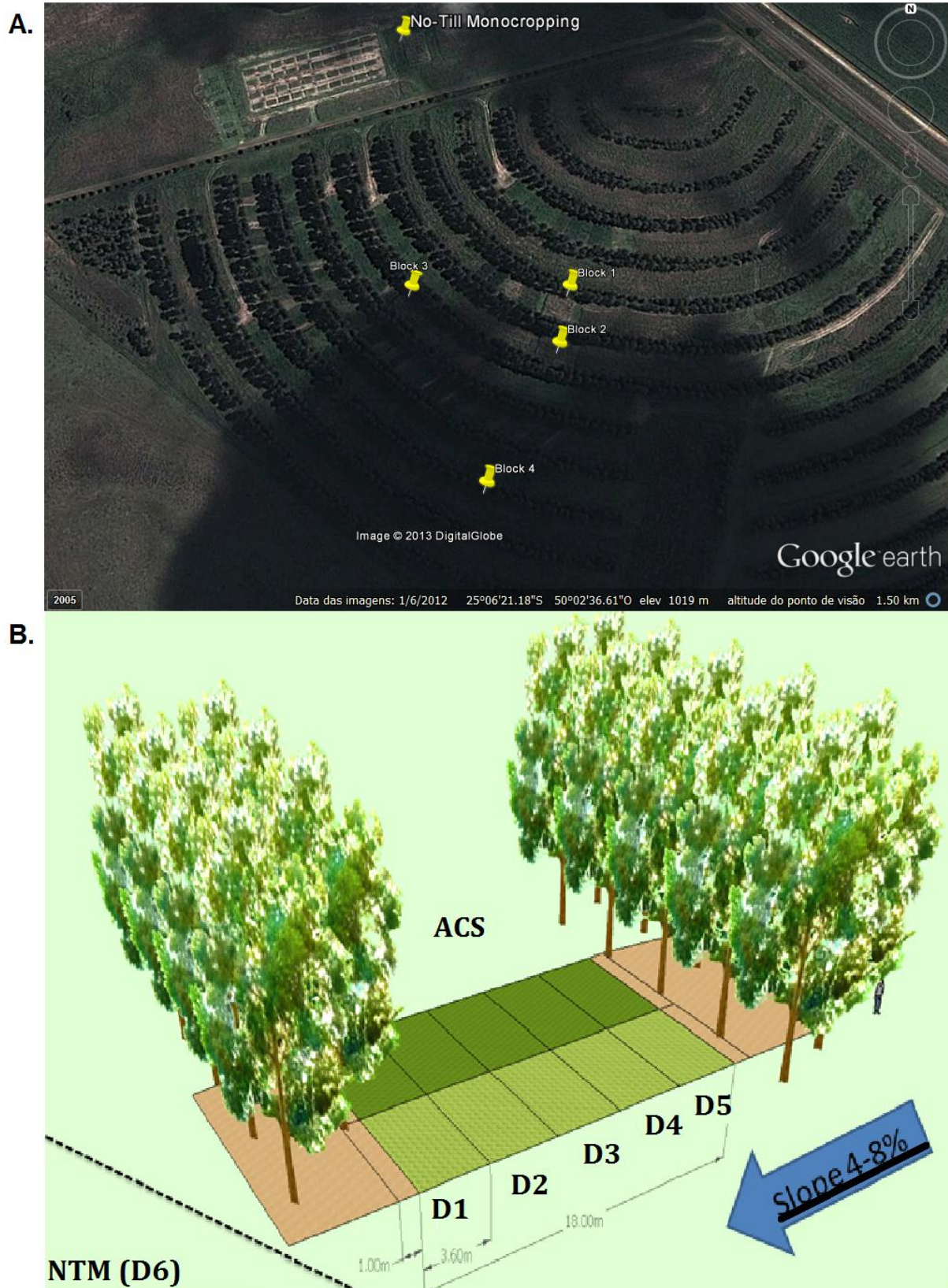


Figure 1. A. Satellite image from Google Earth of IAPAR's experimental station showing four blocks into ACS and the NTM experiment in Ponta Grossa, Brazil. B. Experimental sketch of sunflower (*Helianthus annuus* L.) plots in alley cropping system, D1: 4.6 m, D2: 8.2m, D3: 11.8m, D4: 8.2m, D5: 4.6m distances between two adjacent eucalyptus (*Eucalyptus dunnii* Maiden) double line rows [20 m (4 m x 3 m)] and D6: no-till monocropping system (NTM).

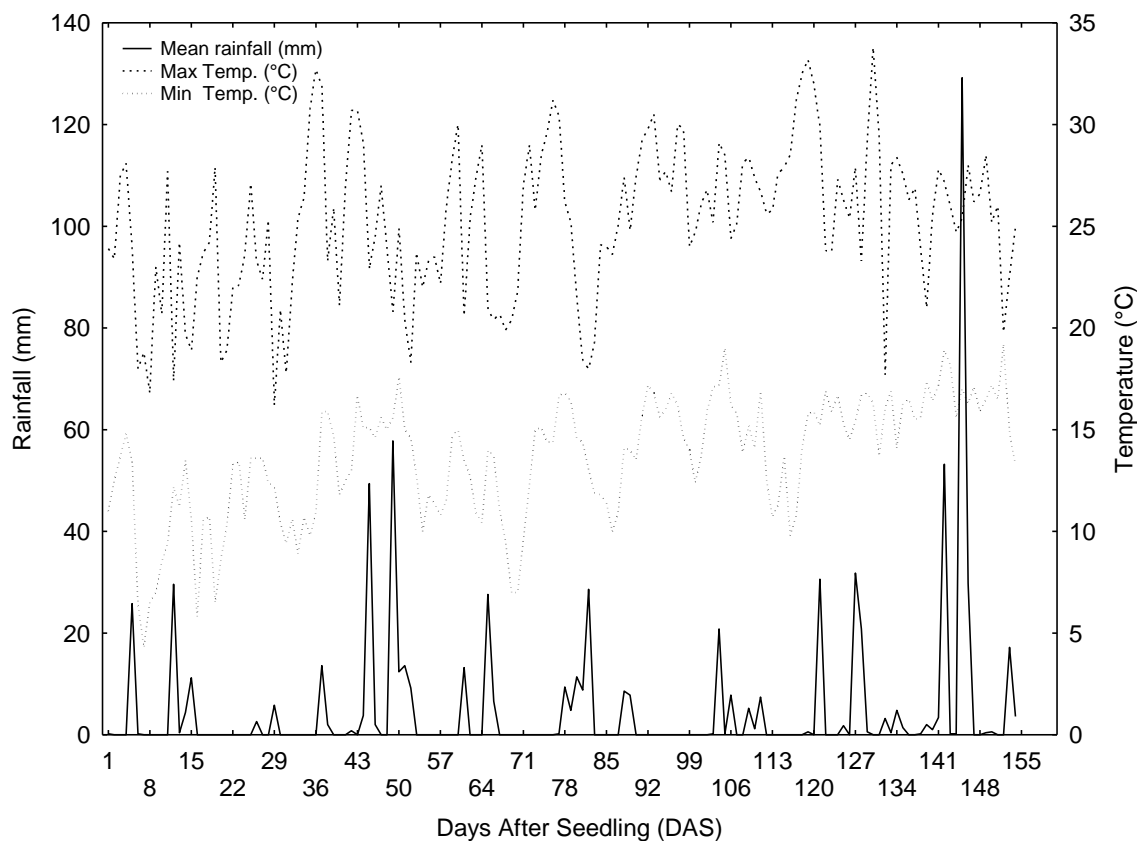


Figure 2. The rainfall (mm), maximum and minimum air temperature patterns during sunflower growth. Data sets from SIMEPAR meteorological station.

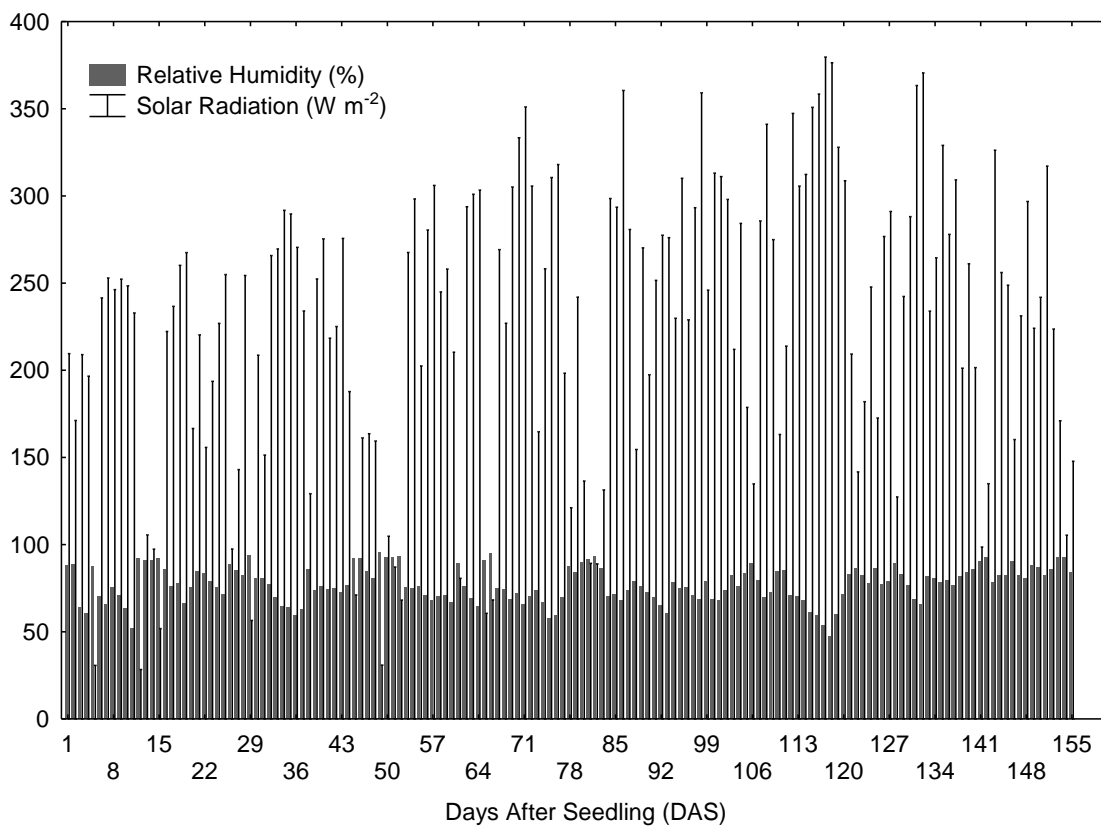


Figure 3. The relative humidity (%) and the global solar radiation incident on Ponta Grossa, Brazil, during sunflower growth. Data sets from SIMEPAR meteorological station

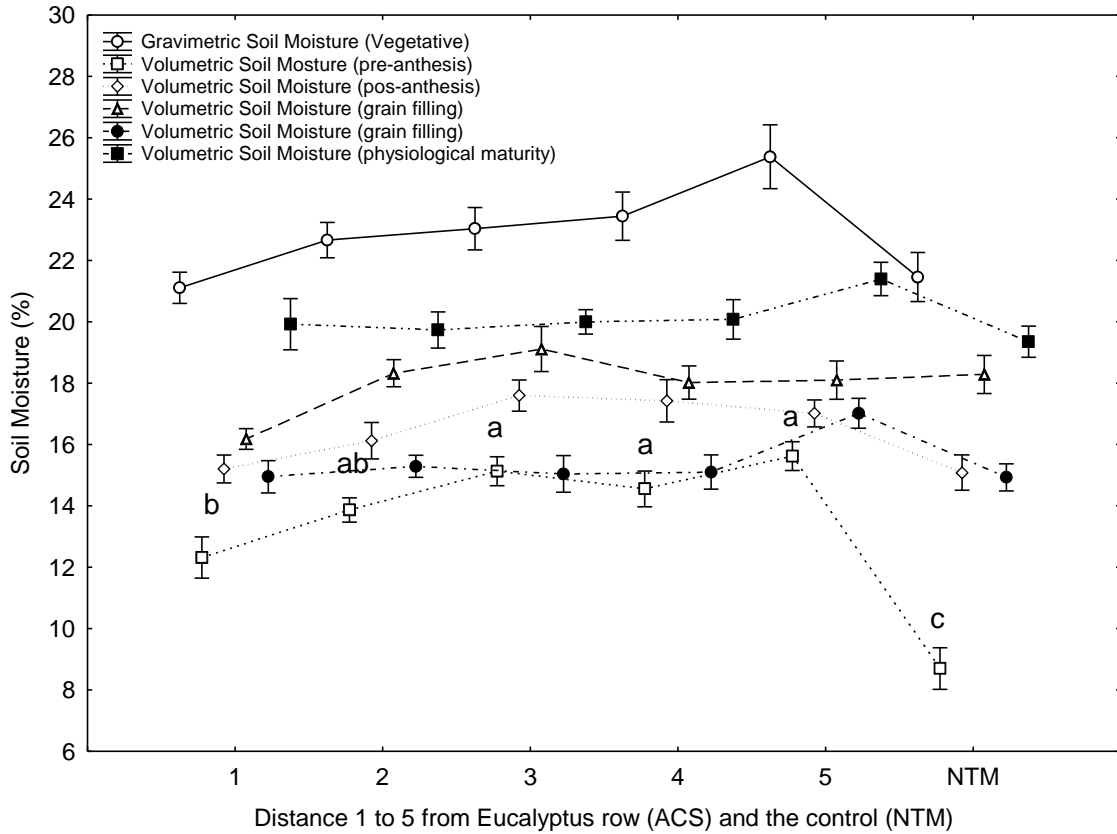


Figure 4. Gravimetric and Volumetric soil moisture in the 0-20 cm soil layer. Data shown are 6-days moving averages

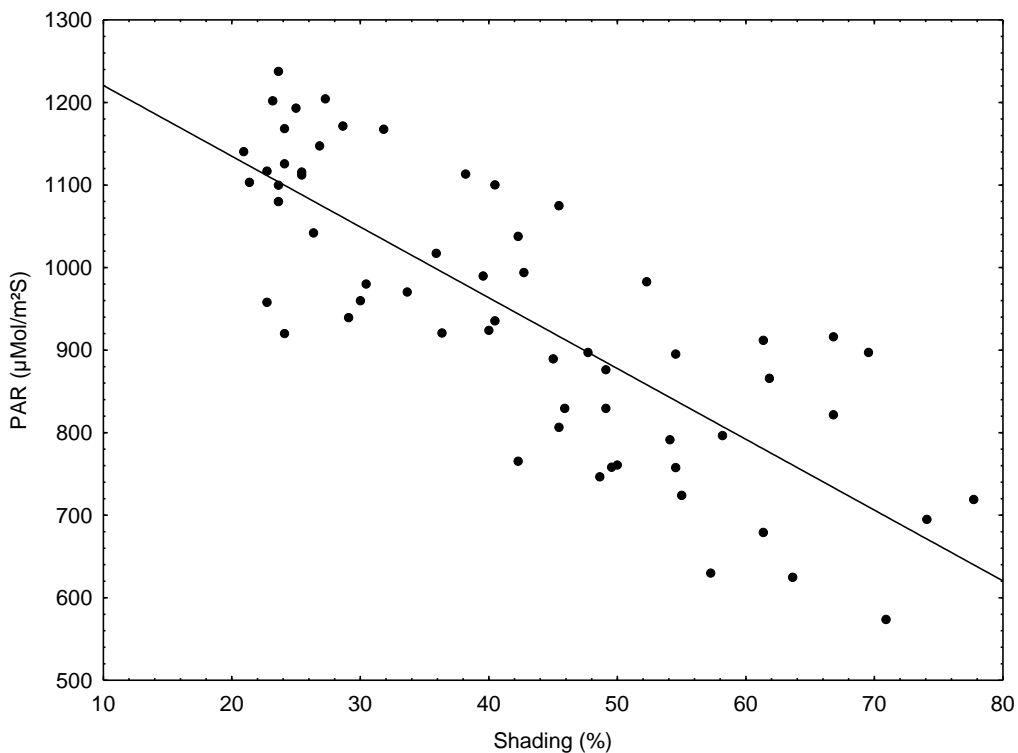


Figure 5. Relationship between PAR incident and shading in the ACS. Data from the vegetative growth stage (30DAS) are presented. Each point represents the mean of four replicates taken during the day (08 :00-18 :00). Regression equation is : $Y = 1306.424 - 8.5747x$; $r = -0.8022$; $P < 0.001$; $R^2 = 0.6435$.

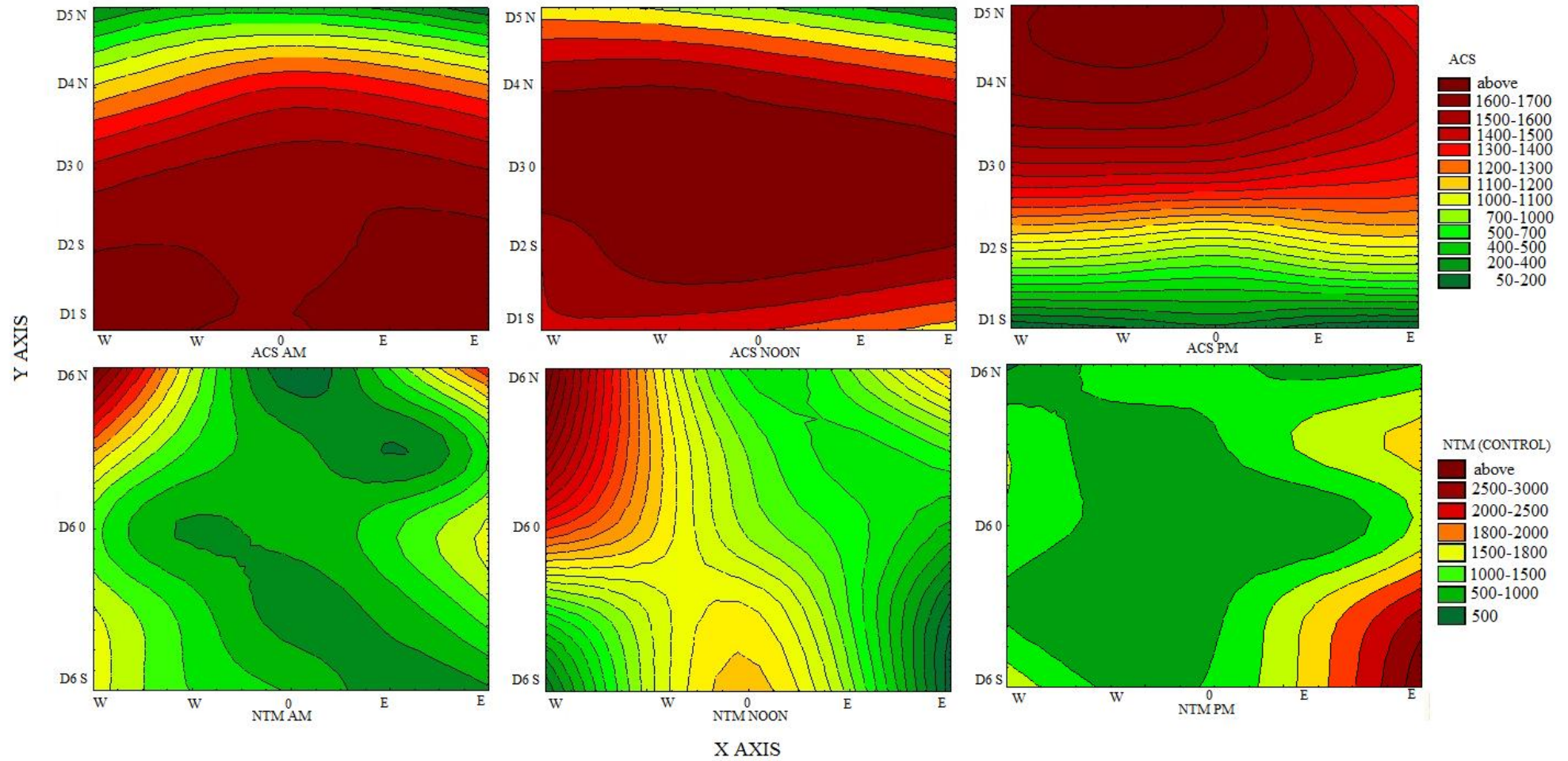


Figure 6. Diurnal (AM, noon, PM) PAR (photosynthetically active radiation ($\mu\text{Mol}/\text{m}^2\text{S}$)) within sunflowers plots in ACS and NTM (control).

Table 2

Yield components and Sclerotinia incidence of three sunflower genotypes in ACS (1 to 5 tracks) and NTM (control).

ACS Tracks	Head Diameter (cm)				Plant Height (cm)				S. sclerotiorum Incidence (%)			
	Aguara 04	Catissol	NTO 2.0	Mean	Aguara 04	Catissol	NTO 2.0	Mean	Aguara 04	Catissol	NTO 2.0	Mean
D1	13.44	12.39	12.93	12.92D	176.90	168.88	165.98	170.58B	16.55	26.61	23.31	22.16AB
D2	15.66	12.68	14.40	14.25C	195.25	190.93	185.88	190.68A	31.00	14.73	28.82	24.85A
D3	16.56	14.75	15.91	15.74B	201.55	183.33	194.75	193.21A	30.48	16.14	27.07	24.56A
D4	14.28	13.51	14.13	13.97CD	193.85	184.93	186.13	188.30A	20.40	27.09	24.17	23.89AB
D5	11.71	10.30	10.36	10.79E	172.75	159.48	155.70	162.64C	24.84	9.51	9.78	14.71B
Mean ^a	14.33	12.73	13.54	13.53	188.06	177.51	177.69	181.08	24.65	18.82	22.63	22.03
CV% ^a	4.42	5.78	5.00	5.04	2.71	3.29	2.81	2.93	26.41	41.22	34.04	33.24
NTM	19.10	19.30	17.00	18.47A	193.45	192.20	174.83	186.83A	2.36	2.81	0.66	1.94C
Mean ^b	15.13a	13.82b	14.12b	14.36	188.96a	179.95b	177.21b	182.04	20.94	16.15	18.97	18.68
CV% ^b	4.22	4.92	4.58	4.56	2.39	3.45	2.41	2.75	27.02	41.23	34.42	33.62
ACS Tracks	LAI			Mean	1000 achene weight (g)			Mean	Yield (Kg ha ⁻¹)			Mean
D1	5.35	5.37	5.89	5.54CD	43.80Ba	44.41CDa	47.90Ca	45.37D	1810.93Ba	1414.72CDa	1631.67Da	1619.10D
D2	6.55	5.66	6.37	6.19AB	43.87Bc	48.89BCb	55.24Ba	49.33C	2270.28Ba	2508.61Ba	2571.76BCa	2450.22B
D3	7.32	6.40	6.28	6.66A	48.65Ab	50.78Bb	58.40Ba	52.61B	2320.69Bab	1998.84BCb	2893.10Ba	2404.21B
D4	6.37	5.62	5.25	5.74BC	43.88Bb	46.83BCb	56.27Ba	48.99C	2137.87Ba	1908.19BCa	2152.47CDa	2066.18C
D5	5.71	4.86	4.37	4.98D	38.49Ca	40.57Da	38.18Da	39.08E	984.40Ca	1018.52Da	620.28Ea	874.40E
Mean ^a	6.26	5.58	5.63	5.82	43.74	46.29	51.20	47.08	1904.83	1769.78	1973.85	1882.82
CV% ^a	6.74	4.43	9.18	6.79	3.53	3.49	2.59	3.18	16.79	12.24	9.47	12.83
NTM	6.38	6.79	7.13	6.76A	49.99Ac	59.61Ab	65.46Aa	58.35A	4686.71Aab	4488.10Ab	5098.70Aa	4757.84A
Mean ^b	6.28	5.78	5.88	5.98	44.78c	48.51b	53.57a	48.95	2368.48ab	2222.83b	2494.66a	2361.99
CV% ^b	6.58	3.82	7.66	6.05	3.49	3.39	2.28	3.02	13.39	9.93	7.74	10.36

^a Refers to the five tracks: D1: 4.6 m, D2: 8.2m, D3: 11.8m, D4: 8.2m, D5: 4.6m between two adjacent eucalyptus (*Eucalyptus dunnii* Maiden) double line rows [20 m (4 m x 3 m)]. Means, within a column (capital letter) and within a row (small letter), followed by different letters differ [P<0.05] by Duncan test. ^b Means and coefficient of variation (CV%) including no-till monocropping (NTM).

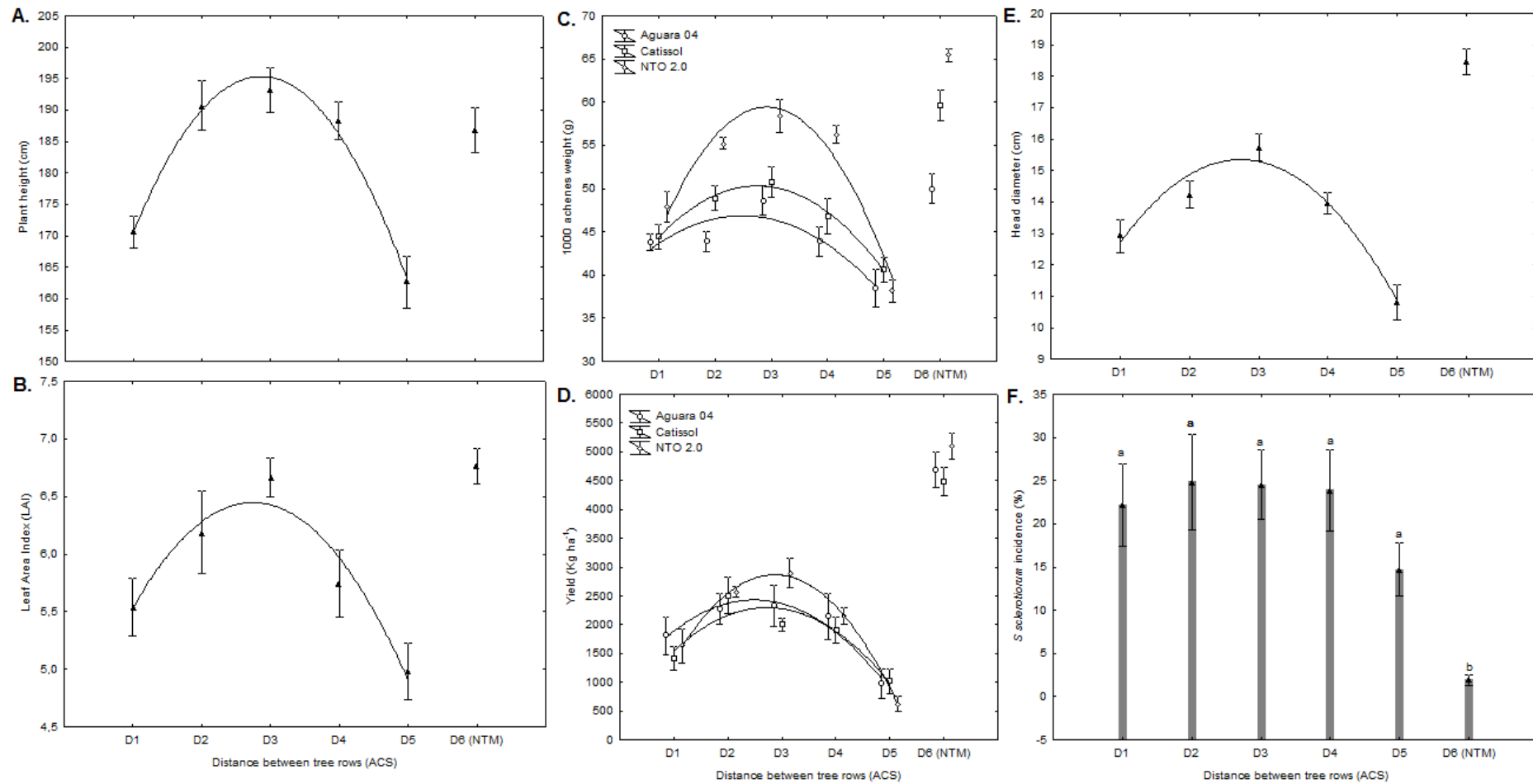


Figure 7. Growth and Yield components of sunflower seeds grown in alley cropping agroforestry system, 1: 4m, 2: 8 m, 3: 12 m, 4: 16 m and 5: 20 m away from track positioned at the lowest elevation of the slope, between two adjacent eucalyptus (*Eucalyptus dunnii* Maiden) double line tracks [20 m (4 m x 3 m)]. Vertical bars denote standard errors. A) Plant height (cm) : $Y = 191.02 - 0.25 x + 5.51 \cdot 10^{-4} x^2$, $R^2 = 98.8$, $P = 1.21 \cdot 10^{-10}$; B) LAI : $Y = 6.13 + 0.03 x + 4.96 \cdot 10^{-4} x^2$, $R^2 = 92.65$, $P = 2.52 \cdot 10^{-5}$; C) 1000-achene weight (g) Aguara 04: $Y = 43.65 - 0.01 x - 0.002 x^2$, $R^2 = 79.69$, $P = 0.001$; Catissol: $Y = 44.31 + 0.56 x - 0.01 x^2$, $R^2 = 98.94$, $P = 8.08 \cdot 10^{-5}$; NTO 2.0: $Y = 47.33 - 0.37 x - 0.003 x^2$, $R^2 = 94.45$, $P = 8.20 \cdot 10^{-10}$; D) Yield (Kg ha⁻¹) Aguara 04: $Y = 1767.80 + 224.92 x - 19.06 x^2$, $R^2 = 96.42$, $P = 1.008 \cdot 10^{-5}$; Catissol: $Y = 1541.48 + 242.89 x - 19.55 x^2$, $R^2 = 83.57$, $P = 7.05 \cdot 10^{-6}$; NTO 2.0: $Y = 1604.19 + 408.87 x - 33.10 x^2$, $R^2 = 99.68$, $P = 9.62 \cdot 10^{-10}$; E) Head diameter (m) : $Y = 14.96 - 0.004 x + 9.19 \cdot 10^{-4} x^2$, $R^2 = 95.2$, $P = 1.13 \cdot 10^{-7}$ F) *S. sclerotiorum* incidence (%) : means marked with the same letter code are not significantly different at $P = 0.05$.

4. CAPITULO II

Sunflower seed grown in Agroforestry system as livestock feed in Brazil

A.C.V. Oliveira^{a*}, A. de Moraes^a, M.F.S. Ribeiro^b, V.P. Silva^c, J.L. Motetta^b, C.R. Lang^a, E.B. Oliveira^c,

^a Federal University of Paraná, Crop Production Department, Rua dos Funcionários, 1540, 80035050, Curitiba, Brazil.

^b Agricultural Research Institute of Paraná, Rod. do Café, km 496, Post Office Box 129 - 84001-970, Ponta Grossa, Brazil.

^c Embrapa Forestry, Post Office Box 319, CEP 83411-000, Colombo, Paraná, Brazil

* Corresponding author: Tel.: +55 41 98 21 22 78.

E-mail address: ana.acvo@ufpr.br (A.C.V. Oliveira).

ABSTRACT

Two field experiments were carried out to compare the chemical composition of three genotypes of sunflower grains: Aguará 04, Catissol and NTO 2.0 used as animal feeding in alley cropping agroforestry system (AFS) and in sole cropping (SC). The experimental design was in randomized blocks with three genotypes and four replicates. In the experiment in AFS, the plots were arranged in five equidistant tracks D1 (0-4), D2 (4-8), D3(8-12), D4 (12-16) and D5 (16-20) m between two adjacent rows of eucalyptus (*Eucalyptus dunnii* Maiden) double line [20 m (4 m x 3 m)] . Each genotype was sown in a plot of 5 rows of 5m long, spaced 0.7 m between rows and 0.3m between plants. Three central rows of each plot were harvested and samples were dried, threshed, weighed and then the chemical composition was analysed. The grain yield, dry matter (DM), crude protein (CP) and ether extract (EE) production were similar among genotypes within each production system. The highest levels of DM and EE into AFS were observed in the Aguará 04's grains. The genotype NTO 2.0 showed the highest CP content. Shading caused a reduction in productivity and CP yield of the genotypes. The highest grain yields, CP and EE yields were observed in sunflower genotypes grown in SC. The CP, total digestible nutrients (TDN) and neutral detergent fibre (NDF) were higher in grains grown into AFS. For the EE composition and acid detergent fibre (ADF) of sunflower genotypes, the SC was more favourable than AFS. There was a positive effect of eucalyptus's shading on the nutritional quality of the grains in terms of CP and TDN content. At this eucalyptus development stage (5 years old trees) grain yield was reduced by up to 60%, which tends to impair the potential of sunflower production in agroforestry systems. Further work is necessary to assess the representativeness of these results, using more genotypes, several tree species and arrangements along different development stages.

Key words: alley cropping, crude protein, *Helianthus annuus* L., integrated systems, livestock feed, total digestible nutrient

1 . Introduction

Agroforestry systems can be classified as agrisilvicultural (crops and trees), silvopastoral (pasture/livestock and trees), and agrosilvopastoral (crops and pasture/livestock and trees) (Nair,1985). Alley cropping is an agroforestry system that integrates trees in spatial zonal arrangements with crops to provide ecological benefits (Kang, 1997; Quinkenstein et al., 2009).

An agroforestry system is regarded as an alternative to produce crops, forest and livestock in a sustainable manner. The interaction of these different components creates an array of benefits and advantages for plants and landscape (Tsonkova et al., 2012). The integration of trees and plants promotes some microclimate changes and consequently, tree competition can reduce photosynthetic radiation, as well as growth and yield of crops (Reynolds et al., 2007).

In developing countries the livestock production plays a primary role in agricultural and rural economies (Moll, 2005). In order to reduce the cost of livestock feed is indispensable to find out sustainable crop-livestock systems including alternative feedstuff (Rao and Hall, 2003).

Sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivation has expanded in Brazilian agricultural scenario due to genetic and agronomic progress carried out by Brazilian Research Institutions. Improvements in genotypes' adaptability to different climatic conditions and in the diversity of products from the plant, aiming to enhance farming system's profitability, are some of the progress made (Rosa et al., 2009).

Many scientific efforts were intended to find out functional properties of sunflower seeds and applications in food and feed around the world. However, researches involving the tree-sunflower interface in alley cropping are still incipient.

Banta et al. (2006), Mir et al. (2008) and Sackmann et al. (2003) assured that the use of whole high-oil sunflower seeds in beef cows, beef steers and crossbred steers feed is healthfully efficient and reduced the liver abscesses occurrence because of a high lipid concentration of excellent nutritional value and a moderate protein content concentration. For these reasons, sunflower seeds could be used to replace partial protein requirements and concomitantly supply lipids as well.

Regarding the use of sunflower seeds, Selvaraj and Purushothaman (2004) in experiments with broiler chickens, using five isocaloric diets, with corn and soybean feed containing 0.5;10;15 and 20% inclusion grains, observed no effect on weight gain and feed intake. Nevertheless, they noticed an improvement in feed conversion when the chickens were fed with diets containing 15 and 20% of the product. In addition, these authors also observed an increase in abdominal fat of birds which were fed with diets containing 20% of sunflower seeds. The poultry treated with diets that contained about 10% of sunflower seeds had a reduction in the amount of skin.

In the same way, Musharaf (1991); Mushtaq et al. (2009) and Rodriguez et al. (1998) reported no effect on weight gain or feed efficiency when up to 250 g kg⁻¹ sunflower seeds were included in the broiler diet.

Silva et al. (2002) working with 4 levels of sunflower meal (SM), observed that the inclusion of up to 21% SM, partial replacement of maize and soybean meal in diets of pigs in growing and finishing not affected performance and carcass characteristics. Seerley et al. (1974) assured that up to 10% sunflower seeds can be used in growing and finishing swine diets without adversely affecting either performance or the quality of pork produced.

The same authors highlight the wide use of sunflower and its by-products in the feed, but this have limitations as the low level of lysine and high fibre content which can be adjusted including sunflower according feed ingredients and the animal's requirements.

In this paper, we test the hypothesis that the chemical composition and yield of sunflower seeds are not modified by the tree shading when positionated between eucalyptus rows into AFS.

The main goal of this study was to determine the feasibility of growing sunflower into agroforestry system with eucalyptus to be used as animal feed.

2. Material and Methods

2.1. Study site description

The SC and AFS experiments were conducted with three sunflower's genotypes (Aguara 04, var. Catissol and NTO 2.0) over the summer 2011-2012 in the experimental farm "Fazenda Modelo" of the Agricultural Research Institute of Paraná (IAPAR), located in Ponta Grossa, Paraná State, Brazil (25°06'24''S and 50°02'33''W, 1019 m altitude). The climate is classified as *Cfb* (temperate with mild summer), with an average annual rainfall of 1700 mm and annual temperature of 17,5°C.

According to the USDA Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2010), the experimental plots were performed on Oxisoil Perox Haploperox, with wavy soft relief phase (4-8% slope). A total of 192 soil subsamples were collected at random over the experimental area, on May, 2011 at 0-0.20 m depth, and bulked to form six homogeneous composite samples.

The soil analysis presented the following characteristics (means \pm standard deviation, n = 6): pH (CaCl₂) 4.9 \pm 0.20, pH (SMP) 6.2 \pm 0.15, Al⁺³ 0.13 \pm 0.13 cmol_c dm⁻³, H⁺+Al⁺³ 4.43 \pm 0.55 cmol_c dm⁻³, Ca⁺² 3.07 \pm 0.79 cmol_c dm⁻³, Mg⁺² 2.47 \pm 0.37 cmol_c dm⁻³, K⁺ 0.12 \pm 0.03 cmol_c dm⁻³, P 6.65 \pm 2.17 mg dm⁻³, C 26.4 \pm 1.3 g dm⁻³ and clay 447 \pm 16 g kg⁻¹.

The arboreal component of AFS is *Eucalyptus dunnii* Maiden, which were implemented in 2007 in double line rows. SC represents sunflower monocropping in no tillage system without trees and was disposed close to the AFS (less than 200 m). Previously, both systems were areas of native grassland and had similar biodiversity.

The trees tracks were placed in levels with guideline on the slope, where the space between two adjacent tree tracks is 20 m, the distance between two adjacent rows in a track is 4 m, and the distance of two trees in a row is 3 m [20 m (4 m x 3 m)].

During the summer of 2010, corn (*Zea mays* L.) was grown and then, black oat (*Avena strigosa* Schreb.) was sown as winter cover crop.

For increased light penetration on the canopy, some eucalyptus trees were thinned (from 278 to 166 trees ha⁻¹), on August 24, 2011, and the remaining trees had their branches pruned to half of trees height. The average tree height and diameter breast height on December 2011 were 17.41 m and 21.22 cm, respectively.

A week before sowing the sunflower, glyphosate (0.7 kg ae ha⁻¹) was applied to eliminate remaining weeds from the preceding crop. Sowing and fertilization was done by hand on August 26, 2011. Plant density was estimated at approximately 45.000 plants ha⁻¹ and the fertilizer rate was 800 kg ha⁻¹ of the basic mineral formula 04-30-10 (N-P₂O₅-K₂O). A month after sowing, 30 kg ha⁻¹ of ammonium sulphate and 2 kg ha⁻¹ of Borax was applied. The weeds were controlled by hand-pulling and hoeing, during mid-vegetative growth stages. Before the physiological maturity, sunflower heads were covered with polypropylene bags to prevent birds attacks. Pruning shears were used for harvesting the sunflower head.

2.2 Experimental design and measurements

The experiments were carried out in a split-block in a randomized complete block design, with four replicates and six positions (five positions (D1-D5) between two eucalyptus tracks into AFS and one outside the system as SC (D6)). The genotypes Aguará 04, Catissol and NTO 2.0 were sown in a plot of 5 rows of 5 m long, spaced 0.7 m between rows and 0.3 m between plants. The plots into the AFS were arranged in five tracks D1 (0-4), D2 (4-8), D3 (8-12), D4 (12-16) and D5 (16-20 m) away from the rows of eucalyptus.

After harvesting, the heads were dried at 65°C for 72 h, threshed and weighed. Then the samples were analysed in the laboratory of animal nutrition in the IAPAR located in Ibirorã, State of Paraná, Brazil, for determination of dry matter (DM), crude protein (CP), crude fiber (CF), nitrogen-free extractives (NFE) and ether extract (EE). Concentrations of DM and CP were analysed by the

method of AOAC (2006). The fraction of CF, NFE and EE were performed according to Silva & Queiroz (2002). The neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) contents of the samples were determined by the method of Van Soest (1973) and Van Soest et al (1991), respectively. The total digestible nutrients (TDN) of the samples were estimated using the following equation reported by Chandler (1990): $\%TDN = 86.2 - 0.51 (\%NDF)$.

2.3 Statistical analysis

The data was statistically analysed using the framework split-block design, in the General Linear Models procedure of Statistica 8.0 for Windows (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA), with the following factors: the three genotypes and the positions (five positions between two eucalyptus tracks and SC). The normality of the residuals was verified by the Shapiro-Wilk test at $\alpha = 0.01$ significance. Then, analysis of variance (ANOVA, $\alpha = 0.05$) were used to test the effect of tree distances on the variables of crop nutritive value and yield of the genotypes. The block and its interactions were treated as random effects.

Afterwards, the means were compared using Duncan test, considering treatment effects at $P \leq 0.05$ probability level. Simple regression analyses for linear, quadratic and cubic polynomial degrees were determined for the significant positions effects inside AFS. The mathematical models were chosen according to the higher determination coefficients and the lowest value of significance.

3. Results

3.1 Sunflower grain nutritional value

The chemical composition of the sunflower crop into SC compared to AFS is shown in Table 3. The highest crude protein content was found in sunflower grown into AFS. Conversely, the highest percentages of ether extract were observed in the grains established in the SC experiment.

The chemical analyses of sunflower grown into the AFS indicated that there are significant differences ($P < 0.01$) for crude protein and ether extract average content between the three genotypes. The average crude protein content was similar in the five distances between the eucalyptus rows. The highest percentage of crude protein and the lowest ether extract content were attributed to NTO 2.0. The Aguará 04 showed the highest content of lipids and dry matter.

In the AFS, the interaction between genotypes and distances occurred only for the crude protein parameter, which was fitted by the regression analysis, to the quadratic degree. The crude protein behaviour of the genotype NTO 2.0 was described by a concave up graph, in which the

highest values occurred on positions D1 and D5, and the peak of the lowest value occurred on track D3. The Aguara 04 and Catissol graphs showed similar behaviour in concave down graphs, in which the peak of higher values is seen on position D3 (Figure 8).

The highest TDN average values were recorded for the three adjacent tree tracks plots (D1, D4 and D5). There was no significant difference between treatments in the overall percentages of NDF. Conversely, sunflower seeds into SC showed the highest ADF content. No effects were detected of positions treatments on NDF content of the genotypes ($P > 0.05$).

3.2 Grain yield and its components

The performance results of the sunflower crop cultivated in SC and AFS are presented in Table 4.

The genotypes did not differ significantly ($P > 0.05$) for crude protein (kg ha^{-1}) within each experiment. For the ether extract, dry matter and yield the genotypes differed significantly only in the track D3 and in the SC experiment. The highest yield, dry matter and crude protein average (kg ha^{-1}) into the AFS were observed in the tracks D2 and D3. The tracks D1 and D5 (adjacent to the eucalyptus rows) presented the lowest values of ether extract (kg ha^{-1}). Nevertheless, there was significant effect ($P < 0.001$) among the tracks evaluated for these parameters and between the AFS as well as SC systems showing the best performance of the sunflower grown on SC.

Comparing the tracks of AFS experiment, the behaviour of the three genotypes revealed a peak of a concave down graph for yield, dry matter and ether extract (kg ha^{-1}) between the tracks D2 and D3. The regression analysis denoted a quadratic polynomial degree effect, in which the negative interference of trees (which becomes higher with the reducing distance from the trees) decreased the yield, the dry matter and the ether extract (kg ha^{-1}) (Figure 9).

4. Discussion

4.1 Sunflower grain nutritional value

The shade environment produced by the tree canopy in agroforestry systems affects the morphology, anatomy and chemical composition of intercropped plants, hence, may affect nutritional quality (Lin et al., 2001; Reynolds et al., 2007; Burner et al., 2009). These interaction effects between trees and crops can be positive, neutral or negative, depending on ecological factors (Gillespie et al., 2000).

In general, sunflower response in terms of crude protein and TDN content was positively affected by the eucalyptus interference (Table 3). Furthermore, the genotype NTO 2.0 showed the highest levels of crude protein under shading (positions D1 and D5 close to the tracks of eucalyptus), probably because it is more sensitive to genotype-environment interactions than the Aguará 04 and Catissol (Figure 8).

In fact the increase in crude protein content occurred, presumably as a proportional response to the substantial increase in available nutrients ascribed to nutrients mineralization from litter fall or pruning. Still another possibility stems from the fact that the increase in crude protein content in the ACS could be due to a disproportional decrease in oil content.

Most of the protein in the sunflower grain is derived from nitrogen taken up by plants before the grain filling (Hall et al, 1994). Increases in sunflower grain protein content are usually followed by proportional reductions in grain oil content (Connor and Hall, 1997).

Naeve and Proulx (2009), studying the effects of pod removal, shade, and defoliation treatments on soybean yield and seed quality relationships during the seed-filling period, concluded that shade treatments resulted in increased seed protein concentration and decreased seed oil concentration. Some authors also observed negative correlations between oil and protein content for soybean seeds (Serretti et al., 1994; Dornbos and Mullen., 1992) and sunflower achenes (Hladni et al, 2006).

Conversely, Andrade and Ferreiro (1996) examined the effect of shading and thinning treatments during grain filling on maize, sunflower and soybean yield and its components and reported that shading did not have any effect on soybean seed quality, but decreased lipid concentration and increased nitrogen concentration in sunflower seeds.

Sunflower seed provides energy-dense oil and inclusion at 14% of dietary dry matter, in finishing diets of feedlot cattle, increased tenderness and juiciness without negatively affecting the taste of beef (Gibb et al 2004). Moreover, when high-protein grains are fed, the same total dietary crude protein concentration is used, so less protein is added, reducing costs in formulating diets (Galyean, 1996).

Within AFS, there was observed a reduction in the ether extract content of the grains that were shaded by eucalyptus trees into AFS. Likewise, Beaudette et al. (2010), comparing canola seed oil yield in tree-based intercropping and conventional monocropping systems, remarked a reduction in seed oil concentration and yield in close proximity to poplar rows.

Aguirrezábal et al. (2003), working with shading levels in sunflower research concluded that a reduction of photosynthetically active radiation intercepted during the grain filling negatively affects the lipids concentration in addition to affecting productivity.

The intercepted PAR during seed filling plays a significant role in determining oil production in sunflower, and to consider genotypic differences in response of radiation treatments may be important (Dosio et al, 2000).

4.2 Grain yield and its components

In general agreement with previous results (Ramsh et al, 1990; Rao et al, 1991) sunflower yields were most reduced by the tree species in reduced alley widths (Table 4). According to Cantagallo et al. (2004) and Lindström et al. (2006), low radiation during florest growth, anthesis and grain filling can affect negatively grain yield through its effects on both grain unit weight as well as grain number and these effects are attributable to abortion of the embryos in the early stages of development. Furthermore, the reduction in the source-sink ratio by defoliation or shading during the initial development of the sunflower seed resulted in higher proportions of empty achenes (up to 60%), especially in the head centre (Alkio et al., 2003).

Working with a large tree-based intercropping system on corn and soybean in southern Ontario, Canada, Reynolds et al. (2007) also observed that tree competition significantly reduced photosynthetic radiation, growth and yield of individual soybean and corn plants growing nearer to tree rows.

Consistently, the results obtained indicated that the shading caused by the trees on sunflower positively affected the oilseed nutritional quality and reduced sunflower yield and crude protein yield for animal feed. Therefore, the growing of sunflower grains into AFS to be used in partial substitution of animal feed is feasible and does not bring harm when there is suitable sunflower management and the proper inclusion in animal feed. In addition, eucalyptus-based agroforestry using wide-row arrangement, pruning and thinning practices, are important strategies to improve intercrop yields over an extended period during the growth phase of eucalyptus as well as to overcome the concerns of declining annual crop production for smallholders due to shift in acreage (Prasad et al., 2010).

5. Conclusions

In summary, our results suggest that the tree competition, at this stage of eucalyptus development, seems to be the main factor to reduce sunflower grain yield. Although crude protein concentration increased the sunflower seed quality close to eucalyptus, the low seed yield did not compensate completely for livestock feed in AFS.

Further research is needed to confirm and extend these results. In particular, works including more seasons, trees, genotypes and following the tree development.

Acknowledgments

This work was supported by the IAPAR, UFPR (Federal University of Paraná), CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel) and FINEP (Funding Authority for Studies and Projects). The Project resulted from cooperation agreement SAIC / AJU No. 21500.10/0008-2 between IAPAR and Embrapa Florestas.

References

- Alkio, M., Schubert, A., Diepenbrock, W., Grimm, E., 2003. Effect of source–sink ratio on seed set and filling in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Plant, Cell and Environment* 26, 1609-1619.
- Association of Official Analytical Chemists-AOAC, 2006. *Official Methods of Analysis*. 18th edition, Arlington, Virginia, AOAC International, 1422 pp.
- Aguirrezábal, L.A.N., Lavaud, Y., Dosio, G.A.A., Izquierdo, N. G., Andrade, F.H., González L.M., 2003. Intercepted Solar Radiation during Seed Filling Determines Sunflower Weight per Seed and Oil Concentration. *Crop Science* 43, 152-161.
- Andrade, F. H., Ferreiro, M.A., 1996. Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. *Field Crops Research* 48, 155-165.
- Banta, J.P., Lalman, D.L, Owens, F.N., Krehbiel, C.R., Wettemann, R.P., 2006. Effects of interval-feeding whole sunflower seeds during mid to late gestation on performance of beef cows and their progeny. *Journal of Animal Science* 84, 2410-2417.
- Beaudette, C., Bradley, R.L., Whalen, J.K., Mc Vetty, P.B.E., Vessey, K., Smith, D.L., 2010. Tree-based intercropping does not compromise canola (*Brassica napus* L.) seed oil yield and reduces soil nitrous oxide emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139, 33-39.
- Burner, D. M., Pote, D. H., Belesky, D. P., 2009. Effect of loblolly pine root pruning on alley cropped herbage production and tree growth. *Agronomy Journal* 101, 184-192.
- Cantagallo, J.E., Medan, D., Hall, A.J., 2004. Grain number in sunflower as affected by shading during floret growth, anthesis and grain setting. *Field Crops Research* 85, 191-202.
- Chandler, P., 1990. Energy prediction of feeds by forage testing explored. *Feedstuffs*. 62, 36, pp 12.
- Connor, D.J., and A.J. Hall. 1997. Sunflower physiology. p. 113–182. In A.A. Schneiter (ed.) *Sunflower production and technology*. Agronomy Monograph 35. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Dornbos, D.L., Mullen, R.E., 1992. Soybean seed protein and oil contents and fatty acid composition adjustments by drought and temperature. *Journal of the American Oil Chemists Society* 69, 228-231.
- Dosio, G.A.A., Aguirrezábal, L.A.N., Andrade, F.H., Pereyra, V.R., 2000. Solar radiation intercepted during seed filling and oil production in two sunflower hybrids. *Crop Science* 40, 1637-1640.
- Galyean, M.L., 1996. Protein levels in beef cattle finishing diets: industry application, university research, and systems results. *Journal of Animal Science* 74, 2860-2870.
- Gleghorn, J. F., Elam, N. A., Galyean, M. L., Duff, G. C., Cole, N. A., Rivera, J. D., 2004. Effects of crude protein concentration and degradability on performance, carcass characteristics, and serum urea nitrogen concentrations in finishing beef steers. *Journal of Animal Science* 82, 2705-2717.

- Gibb, D. J., Owens, F. N., Mir, P. S., Mir, Z., Ivan, M., McAllister, T. A., 2004. Value of sunflower seed in finishing diets of feedlot cattle. *Journal of Animal Science* 82:2679-2692.
- Gillespie, A.R., José, S., Mengel, D.B., Hoover, W.L., Pope, P.E, Seifert, J.R., Biehle, D.J., Stall, T., Benjamin, T.J., 2000. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the mid-western USA: 1. Production Physiology. *Agroforestry Systems* 48, 25-40.
- Hall, A.J., Connor, D.J., Sadras, V.O., 1995. Radiation-use efficiency of sunflower crops: effects of specific leaf nitrogen and ontogeny. *Field Crops Research* 41, 65-77.
- Hladni, N., Škorić, D., Kraljević-Balalić, M., Sakač, Z., Jovanović, D., 2006. Combining ability for oil content and its correlations with other yield components in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Helia* 44, 101-110.
- Kang, B.T., 1997. Alley cropping-soil productivity and nutrient recycling. *Forest Ecology and Management* 91, 75-82.
- Lin, C.H., McGraw, R.L., George, M.F., Garrett, H.E., 2001. Nutritive quality and morphological development under partial shade of some forage species with agroforestry potential. *Agroforestry Systems* 53, 269-281.
- Lindström, L.I., Pellegrini, C.N., Aguirrezábal, L.A.N., Hernández, L.F., 2006. Growth and development of sunflower fruits under shade during pre and early post-anthesis period. *Field Crops Research* 96, 151-159.
- Mir, P.S., Dugan, M. E. R., He, M. L., Entz, T., Yip, B., 2008. Effects of dietary sunflower seeds and tylosin phosphate on production variables, carcass characteristics, fatty acid composition, and liver abscess incidence in crossbred steers. *Journal of Animal Science* 86, 3125-3136.
- Moll, H.A.J., 2005. Costs and benefits of livestock systems and the role of market and nonmarket relationships. *Agricultural Economics* 32, 181-193.
- Musharaf, N.A., 1991. Effect of graded levels of sunflower seed meal in broiler diets. *Animal Feed Science and Technology* 33, 129-137.
- Mushtaq, T., Sarwar, M., Ahmad, G., Mirza, M.A., Ahmad, T., Noreen, U., Mushtaq, M.M.H., Kamran, Z., 2009. Influence of sunflower meal based diets supplemented with exogenous enzyme and digestible lysine on performance, digestibility and carcass response of broiler chickens. *Animal Feed Science and Technology* 149, 275-286.
- Naeve, S.L., Proulx, R.A., 2009. Pod removal, shade, and defoliation effects on soybean yield, protein, and oil. *Agronomy Journal* 10, 971-978.
- Nair, P.K.R., 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* 3, 97-128.
- Prasad, J.V.N.S., Korwar, G.R., Rao, K.V., Mandal, U.K., Rao, C.A.R., Rao, G.R., Ramakrishna, Y.S., Venkateswarlu, B., Rao, S.N., Kulkarni, H.D., Rao, M.R., 2010. Tree row spacing affected agronomic and economic performance of Eucalyptus-based agroforestry in Andhra Pradesh, Southern India. *Agroforestry Systems* 78, 253-267
- Quinkenstein, A.; Wöllecke, J.; Böhm, C.; Grünwald, H.; Freese, D.; Schneider, B. U.; Hüttl, R., 2009. Ecological benefits of the alley cropping agroforestry system in sensitive regions of Europe. *Environmental Science & Policy* 12, 1112-1121.
- Ramshe, D. G.; Umrani, N. K.; Walunjkar, R. B.; Kumbhar, T. T.; Shinde, S. H., 1990. Agroforestry: effects of associated tree species on grain production of arable crops. *Journal of Maharashtra Agricultural Universities* 15, 356-357.
- Rao, M.R., Sharma, M., Ong, C.K., 2001. A tree/crop interface design and its use for evaluating the potential of hedgerow intercropping. *Agroforestry Systems* 13, 143-158.
- Rao, P.P., Hall, A.J., 2003. Importance of crop residues in crop-livestock systems in India and farmers' perceptions of fodder quality in coarse cereals. *Field Crops Research* 84, 189-198.
- Reynolds, P.E., Simpson, J.A., Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., 2007. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. *Ecological Engineering* 29, 362-371.

- Rodríguez, M.L., Ortiz, L.T., Treviño, J., Rebolé, A., Alzueta, C., Centeno, C., 1998. Studies on the nutritive value of full-fat sunflower seed in broiler chick diets. *Animal Feed Science Technology* 71, 341-349.
- Rosa, P.M., Antoniassi, R., Freitas, S.C., Bizzo, H.R., Zanotto, D.L., Oliveira, M.F., Castiglion, V.B.R., 2009. Chemical composition of Brazilian sunflower varieties. *Helia* 32, 145-155.
- Sackmann, J.R., Duckett, S.K., Gillis, M.H., Realini, C.E., Parks, A.H., Eggelston, R.B., 2003. Effects of forage and sunflower oil levels on ruminal biohydrogenation of fatty acids and conjugated linoleic acid formation in beef steers fed finishing diets. *Journal of Animal Science* 81, 3174-3181.
- Seerley, R. W., Burdick, D., Russom, W. C., Lowrey, R. S., McCampbell, H. C., Amos, H. E., 1974. Sunflower meal as a replacement for soybean meal in growing swine and rat diets. *Journal of Animal Science* 38, 947-953.
- Selvaraj, R.K., Purushothaman, M.R., 2004. Nutritive value of full-fat sunflower seeds in broiler diets. *Poultry Science* 83, 441-446.
- Serretti, C., Schapaugh, W. T., Leffel, R. C., 1994. Amino acid profile of high seed protein soybean. *Crop Science* 34, 207-209.
- Silva, C.A., Pinheiro, J.W., Fonseca, N.A.N, Cabrera, L., Novo, V.C.C., Silva, M.A.A., Canteri, R.C., Hoshi, E.H., 2002. Sunflower meal to swine on growing and finishing phase: digestibility, performance and carcass quality. *Revista Brasileira de Zootecnia* 31, 982-990.
- Silva, D.J., Queiroz, A. C., 1997. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*, third ed. UFV, Viçosa.
- Tsonkova, P., Böhm, C., Quinkenstein, A., Freese, D., 2012. Ecological benefits provided by alley cropping systems for production of woody biomass in the temperate region: a review. *Agroforestry Systems* 85, 133-152.
- Van Soest, P.J., 1973. Collaborative study of acid detergent fiber and lignin. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists* 56, 781-784.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non-starch polysaccharide in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74, 3584-3597.

Tabela 3. Chemical composition of seed of three sunflower genotypes in AFS (1 to 5 tracks) and SC.

Tracks	Dry Matter (%)				Crude Protein (%)				Ether Extract (%)			
	Aguara 04	Catissol	NTO 2.0	Mean	Aguara 04	Catissol	NTO 2.0	Mean	Aguara 04	Catissol	NTO 2.0	Mean
1	95.62Aa	95.02ABab	94.65Ab	95.10	19.02ABb	20.58Aab	22.93Ba	20.85A	48.42Ba	43.64Bb	42.22Ab	44.76B
2	95.35Aa	94.97ABa	95.20Aa	95.17	19.02ABa	21.09Aa	21.41Ba	20.51A	47.07Ba	44.94ABab	42.51Ab	44.84B
3	95.43Aa	95.00ABab	94.71Ab	95.05	21.00Ab	22.35Aa	22.02Bab	21.79A	46.65Ba	44.70ABab	42.14Ab	44.50B
4	95.53Aa	94.38Bb	95.14Aa	95.02	18.92ABb	22.30Aab	22.58Ba	21.26A	48.57Ba	44.30ABb	44.66Ab	45.84AB
5	95.25Aa	95.30Aa	94.63Aa	95.06	18.47ABc	20.47Ab	27.01Aa	21.98A	47.49Ba	44.87ABb	43.14Ab	45.16B
Mean ^a	95.44a	94.93b	94.86b	95.08	19.29c	21.36b	23.19a	21.28	47.64a	44.49b	42.93c	45.02
CV% ^a	0.23	0.23	0.26	0.24	3.49	4.25	5.18	4.31	1.89	2.09	1.78	1.92
SC	95.48Aa	95.30Aab	94.65Ab	95.14	17.37Ba	19.40Aa	17.53Ca	18.10B	51.84Aa	47.03Ab	42.88Ac	47.25A
Mean ^b	95.46a	95.12b	94.76b	95.11	18.33	20.38	20.36	19.69	49.74	45.76	42.91	46.13
CV% ^b	0.22	0.22	0.25	0.23	3.58	4.00	5.64	4.41	1.94	1.95	1.90	1.93
Tracks	TDN(%)			Mean	NDF(%)			Mean	ADF(%)			Mean
1	67.08	66.57	65.75	66.46A	37.13	26.31	21.10	28.18	28.78	29.80	31.45	30.01B
2	66.37	66.69	65.63	66.23AB	31.65	29.43	20.81	27.30	30.19	29.56	31.68	30.48AB
3	66.43	66.32	65.84	66.20AB	32.65	25.30	21.10	26.35	30.08	30.30	31.26	30.55AB
4	67.14	67.20	67.25	67.20A	37.33	29.17	31.17	32.56	28.65	28.54	28.44	28.54B
5	67.95	66.75	68.30	67.67A	38.23	25.15	32.87	32.08	27.02	29.43	26.32	27.59B
Mean ^a	67.00	66.71	66.55	66.75	35.40	27.07	25.41	29.29	28.95	29.53	29.83	29.43
CV% ^a	0.89	1.14	1.10	1.04	9.04	14.23	13.97	12.41	4.12	5.18	4.93	4.75
SC ^b	63.86	65.33	64.86	64.68B	23.78	22.00	17.80	21.19	35.25	32.28	33.24	33.59A
Mean ^b	65.43	66.02	65.71	65.72	29.59a	24.54b	21.61b	25.24	32.10	30.90	31.53	31.51
CV% ^b	0.87	1.05	1.21	1.04	9.34	13.30	16.53	13.06	3.86	4.66	5.29	4.60

^a Refers to the five tracks: 1: 4m, 2: 8 m, 3: 12 m, 4: 16 m and 5: 20 m away from track positioned at the lowest elevation of the slope, between two adjacent eucalyptus (*Eucalyptus dunnii* Maiden) double line tracks [20 m (4 m x 3 m)]. Means, within a column (capital letter) and within a row (small letter), followed by different letters differ [P<0.05] by Duncan test. ^b Means and coefficient of variation (CV%) including sole cropping (SC).

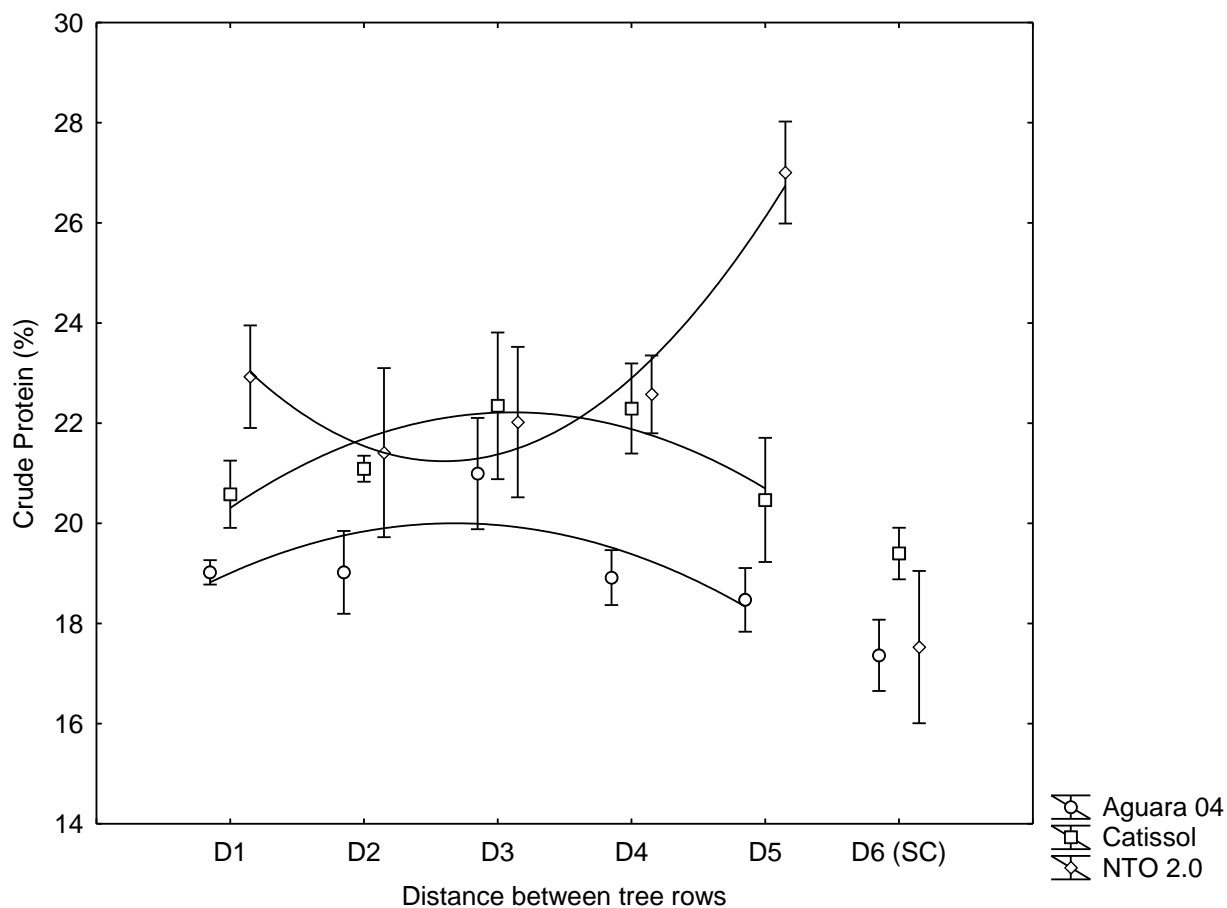


Figura 8. Crude protein compounds of sunflower seeds grown in alley cropping agroforestry system, 1: 4m, 2: 8 m, 3: 12 m, 4: 16 m and 5: 20 m away from track positioned at the lowest elevation of the slope, between two adjacent eucalyptus (*Eucalyptus dunnii* Maiden) double line tracks [20 m (4 m x 3 m)]. Vertical bars denote standard errors. Aguara 04: $Y = 18.82 + 0.36x - 0.03x^2$, $R^2 = 48.96$, $P = 0.12$; Catissol: $Y = 20.30 + 0.50x - 0.03x^2$, $R^2 = 79.8$, $P = 0.06$; NTO 2.0: $Y = 23.01 - 0.68x + 0.06x^2$, $R^2 = 95.71$, $P = 7.6 \cdot 10^{-4}$.

Tabela 4. Grain yield components of three sunflower genotypes in AFS (1 to 5 tracks) and SC.

Tracks	Grain Yield (kg ha ⁻¹)				Dry Matter (Kg ha ⁻¹)			
	Aguara 04	Catissol	NTO 2.0	Mean	Aguara 04	Catissol	NTO 2.0	Mean
1	1810.93Ba	1414.72CDa	1631.67Da	1619.10D	1722.47Ba	1345.96CDa	1551.90Da	1540.11D
2	2270.28Ba	2508.61Ba	2571.76BCa	2450.22B	2162.13Ba	2391.53Ba	2444.82BCa	2332.83B
3	2320.69Bab	1998.84BCb	2893.10Ba	2404.21B	2199.90Bab	1897.74BCb	2742.00Ba	2279.88B
4	2137.87Ba	1908.19BCa	2152.47CDa	2066.18C	2031.47Ba	1808.76Ca	2040.93CDa	1960.39C
5	984.40Ca	1018.52Da	620.28Ea	874.40E	937.92Ca	966.59Da	592.59Ea	832.37E
Mean^a	1904.83	1769.78	1973.85	1882.82	1810.78	1682.12	1874.45	1789.11
CV(%)^a	16.79	12.24	9.47	12.83	17.00	12.33	9.47	12.93
SC^b	4686.71A	4488.10A	5098.70A	4757.84A	4471.43Aab	4282.59Ab	4873.70Aa	4542.57A
Mean^b	2368.48ab	2222.83b	2494.66a	2361.99	2254.22ab	2115.53b	2374.32a	2248.02
CV(%)^b	13.39	9.93	7.74	10.36	13.49	10.07	7.71	10.42
Tracks	Crude Protein (Kg ha ⁻¹)				Ether Extract (Kg ha ⁻¹)			
	Aguara 04	Catissol	NTO 2.0	Mean	Aguara 04	Catissol	NTO 2.0	Mean
1	344.57	288.35	294.70	309.21C	761.30Ba	642.67CDa	684.48Da	696.15C
2	461.58	524.58	504.20	496.79B	951.81Ba	1018.37Ba	1133.06BCa	1034.41B
3	508.71	457.22	533.64	499.85B	962.86Bb	821.90BCb	1238.88Ba	1007.88B
4	438.18	345.21	395.17	392.86C	932.99Ba	789.89BCa	952.45Ca	891.78B
5	170.56	199.81	117.57	162.65D	448.99Ca	444.40Da	275.15Ea	389.51D
Mean^a	384.72	363.03	369.06	372.27	811.59	743.45	856.80	803.95
CV(%)^a	13.89	13.12	11.65	12.89	17.88	13.05	10.50	13.81
SC	837.10	857.81	994.92	896.61A	2142.44Aab	2018.80Ab	2289.31Aa	2150.18A
Mean^b	460.12	445.50	473.37	459.66	1033.40ab	956.00b	1095.56a	1028.32
CV(%)^b	12.43	10.51	10.90	11.28	14.09	10.29	8.05	10.81

^a Refers to the five tracks: 1: 4m, 2: 8 m, 3: 12 m, 4: 16 m and 5: 20 m away from track positioned at the lowest elevation of the slope, between two adjacent eucalyptus (*Eucalyptus dunnii* Maiden) double line tracks [20 m (4 m x 3 m)]. Means, within a column (capital letter) and within a row (small letter), followed by different letters differ [P<0.05] by Tukey test. ^b Means and Variation coefficient (CV%) including sole cropping (SC).

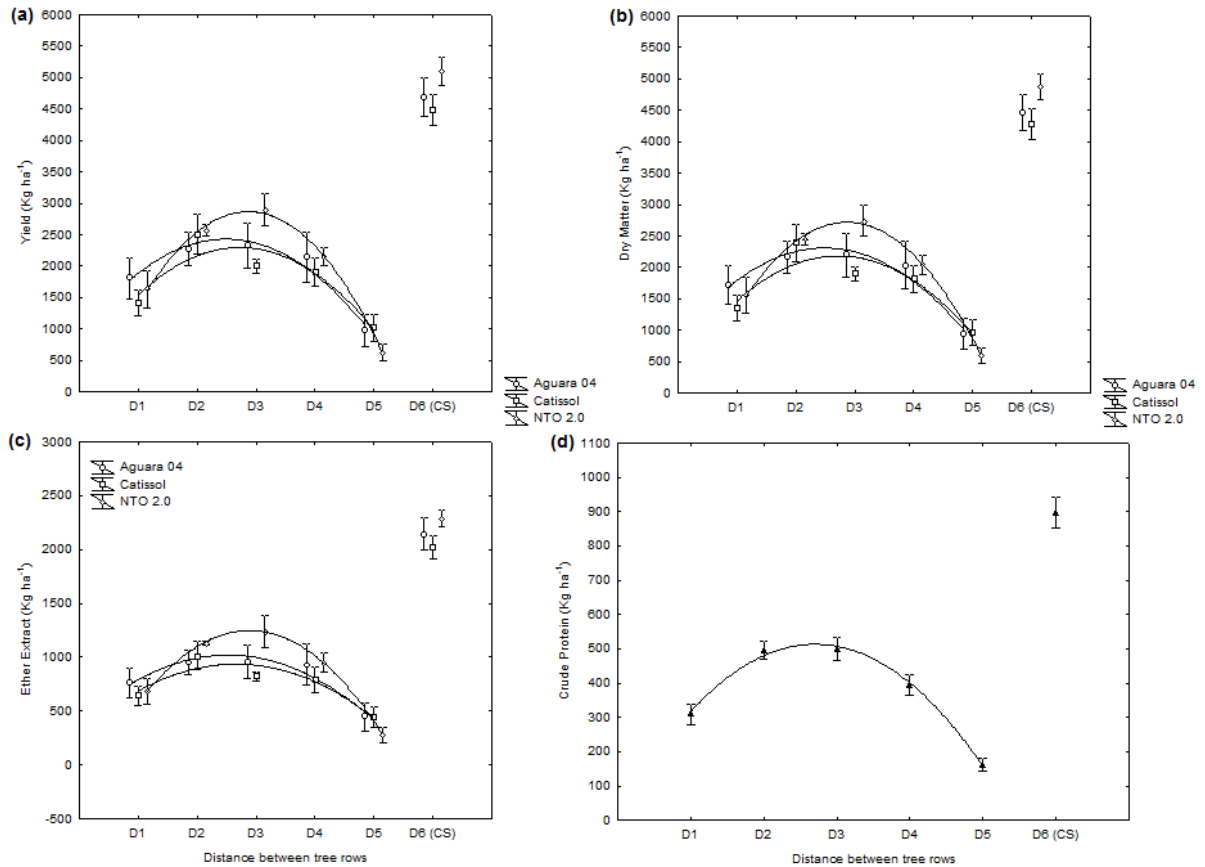


Figura 9. Grain Yield, Dry Matter and Ether Extract (Kg ha⁻¹) of sunflower seeds grown in alley cropping agroforestry system, 1: 4m, 2: 8 m, 3: 12 m, 4: 16 m and 5: 20 m away from track positioned at the lowest elevation of the slope, between two adjacent eucalyptus (*Eucalyptusdunnii* Maiden) double line tracks [20 m (4 m x 3 m)], and grown in the control CS (D6). Vertical bars denote standard errors. (a) Aguara 04: $Y = 1767.80 + 224.92 x - 19.06 x^2$, $R^2 = 96.42$, $P = 1.008 \cdot 10^{-5}$; Catissol: $Y = 1541.48 + 242.89 x - 19.55 x^2$, $R^2 = 83.57$, $P = 7.05 \cdot 10^{-6}$; NTO 2.0: $Y = 1604.19 + 408.87 x - 33.10 x^2$, $R^2 = 99.68$, $P = 9.62 \cdot 10^{-10}$. (b) Aguara 04: $Y = 1683.21 + 212.51 x - 18.04 x^2$, $R^2 = 96.4$, $P = 1.13 \cdot 10^{-5}$; Catissol: $Y = 1468.89 + 230.25 x - 18.57 x^2$, $R^2 = 83.27$, $P = 7.48 \cdot 10^{-6}$; NTO 2.0: $Y = 1527.41 + 386.34 x - 31.31 x^2$, $R^2 = 99.71$, $P = 1.142 \cdot 10^{-9}$ (c) Aguara 04: $Y = 741.72 + 92.44x - 7.66x^2$, $R^2 = 93.81$, $P = 5.33 \cdot 10^{-5}$; Catissol: $Y = 685.88 + 84.06x - 7.04x^2$, $R^2 = 84.87$, $P = 1.5 \cdot 10^{-5}$; NTO 2.0: $Y = 678.94 + 182.08x - 14.57x^2$, $R^2 = 99.96$, $P = 1.91 \cdot 10^{-9}$. (d) Crude Protein (Kg ha⁻¹): $Y = 316.58 + 64.02x - 5.21x^2$, $R^2 = 99.39$, $P = 2.93 \cdot 10^{-10}$.

5. CONCLUSÕES GERAIS

Embora a qualidade nutricional dos aquênios produzidos no SAF tenha sido superior em teor protéico, o efeito na produtividade não foi compensatório devido à redução drástica no rendimento dos grãos.

Comparando o SAF com o cultivo a pleno sol, as maiores produtividades e maiores teores de óleo foram obtidos nos grãos cultivados em condições de maior disponibilidade de radiação solar para as plantas. Essas variáveis foram mais afetadas nas plantas que se desenvolveram em condições de maior sombreamento, ou seja, nas parcelas adjacentes aos renques de eucaliptos.

A cultivar NTO 2.0 apresentou os maiores rendimentos em grãos e a maior variação para as variáveis de produtividade nos dois sistemas, bem como o maior percentual em proteína bruta no SAF.

Em síntese, os estudos realizados apontam para a inviabilidade no cultivo do girassol como componente agrícola dentro de sistemas integrados com árvores de eucalipto de 5 anos de idade, pois supostamente o sombreamento provocado pelo componente florestal foi o fator principal na redução no rendimento dos grãos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com o presente estudo evidenciaram a grande variabilidade na produtividade do girassol entre os renques de Eucalipto. No SAF o rendimento de aquênios variou entre 2893 kg ha⁻¹ e 620 kg ha⁻¹ estando os valores máximos nas faixas centrais (D2,D3 e D4) e, portanto as que receberam maior incidência de radiação. Se comparado com o rendimento obtido a pleno sol (4758 kg ha⁻¹) a perda na produtividade do girassol chega a superar os 60% estimados. Dessa forma ficou clara a inviabilidade da escolha do girassol como componente agrícola do sistema nas condições presentes.

Obviamente que sob condições limitantes de luminosidade, aporte hídrico e nutricional o rendimento potencial das culturas é reduzido. Era de se esperar que tal situação ocorresse com o girassol dentro do sistema. Porém devemos analisar a produtividade como um todo e os inúmeros benefícios que os sistemas integrados geram no resgate da biodiversidade perdida com a monocultura, na redução dos riscos sazonais inerentes à atividade agrícola, na melhoria da qualidade de vida do produtor e na mitigação dos impactos ambientais. Além disso, mesmo com a redução da produtividade do girassol dentro no SAF esta ainda manteve-se dentro da média nacional.

Com a problemática da segurança alimentar, da degradação ambiental nas áreas agrícolas, e mudanças climáticas, há um grande interesse nos SAFs como proposta revolucionária para o nosso modelo agrícola atual. Assim, a pesquisa tem um grande desafio pela frente: entender a complexidade dos sistemas integrados, as interações múltiplas que são geradas com a alteração no microclima pela presença das árvores, avaliar os possíveis arranjos, selecionar genótipos tolerantes às condições dos SAFs, buscar árvores menos competitivas com as lavouras e mais produtivas e manejos eficientes para minimizar os efeitos competitivos.

Enfim, temos muito trabalho pela frente e a perspectiva de que estudos futuros incluindo o girassol em sistemas integrados sejam concretizados buscando relacionar as variáveis microclimáticas com a genética, morfologia e fisiologia de plantas. Sugere-se o uso de aparelhos digitais data loggers, Time Domain Reflectometry (TDR), tensiômetros, isolamento de raízes das árvores, maiores espaçamentos entre renques, mais espécies arbóreas, mais genótipos de girassol, monitoramento da condutância estomática e da transpiração das plantas para complementar o presente estudo.

7. REFERÊNCIAS GERAIS

ABRAF-Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011**. Brasília: ABRAF,2012. 150p.

ABDO, M.T.V.N., VALERI, S.V., MARTINS, A.L.M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 50-59, dez. 2008.

ABIOVE. **Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais**. Disponível em: <<http://www.abiove.com.br/>>. Acesso em: 17 jan. 2012.

AGUIRREZABAL, L. A. N.; ORIOLI, G.A.; HERNANDEZ., L.F.; PEREYRA, V.R.;MIRAVE, J.P. **Girasol: aspectos fisiológicos que determinam el rendimiento**. Mar Del Plata: INTA, 2001. 111p. ISBN 95-098-5371-2.

AGUIRREZÁBAL, L.A.N.; LAVAUD, Y.; DOSIO, G.A.A.; IZQUIERDO, N.G.; ANDRADE, F.H.; GONZALEZ, L.M. Intercepted solar radiation during seed filling determines sunflower weight per seed and oil concentration. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 152-161, fev. 2003.

ANDRADE, F. H.; FERREIRO, M. Reproductive growth of maize, sunflower and soybean at different source levels during grain filling. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 48, n. 2, p. 155-165, out. 1996.

ANDRIA, R.; CHIARANDA, F.Q.; MAGLIULO, V.; MORI, M. Yield and soil water uptake of sunflower sown in spring and summer. **Agronomy Journal**, Madison, v.87, n. 6, p.1122-1128, nov. 1995.

ASSIS JUNIOR, S.L.; ZANUNCIO, J.C.; KASUYA, M.C.M.; COUTO, L.; MELIDO, R.C.N. Atividade microbiana do solo em sistemas agroflorestais, monoculturas, mata natural e área desmatada. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27,n.1, fev.2003.

ASSIS, R. L.; ROMEIRO, A. R. Agroecologia e agricultura familiar na região centro-sul do estado do Paraná. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v.43, n.1, mar.2005.

BENE , J.G.; BEAL, H .W.; COTE ,A . **Trees, food and people: land management in the Tropics**. Ottawa: IDRC,1977. (Agroforestry). Bibliografia: p.39-46. ISBN 08-893-6121-5.

BERGLUND, D.R. **Sunflower Production**. Fargo, North Dakota : N.D.S.U. Extension Service,N.D. Agricultural Experiment Station, 2007. p.15-16.

BERTALOT, M. J. A.; GUERRINI, I.A.; MENDOZA, E.; PINTO, M.S.V. Análise econômica da produção de milho (*Zea mays*) sob sistema agroflorestral e tradicional. **Revista Ceres**, Viçosa, v.55, n.5, p.425-432, set. 2008.

BERTALOT, M. J. A.; GUERRINI, I.A.; MENDOZA, E.; PINTO, M.S.V. Desempenho da cultura do milho (*Zea mays* L.) em sucessão com aveia-preta (*Avena strigosa* Schreb.) sob manejos agroflorestral e tradicional. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 4, Ago. 2010.

BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. Análise florística e estrutural de sistemas silviagrícolas em Tomé-Açu, Pará. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n.10, Out. 2011.

CALIL, F. N. **Aspectos nutricionais de um sistema agroflorestal com eucalipto no sul do Rio Grande do Sul, Brasil**. 2008. 145 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

CARVALHO, J. E. U. Utilização de espécies frutíferas em sistemas agroflorestais na Amazônia: capital social na concepção de políticas públicas: a importância socioeconômica e ecológica dos sistemas agroflorestais frente aos mecanismos de desenvolvimento. In: GAMA-RODRIGUES, A. C. *et al.* (Org.). **Sistemas agroflorestais: bases científicas para o desenvolvimento sustentável**. Campos dos Goytacazes: EdUENF, 2006. p. 169-176.

CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A.; CASTRO, C. de; SILVEIRA, J.M. **Fases de desenvolvimento da planta de girassol**. Circular Técnica n. 58. Londrina, EMBRAPA-CNPSO, 1997. 24p.

CASTRO, C. de; CASTIGLIONI, V.B.R.; BALLA, A.; LEITE, R.M.V.B.C.; KARAM,D.;MELLO, H.C.; GUEDES, L.C.A.; FARIAS, JRB. **A cultura do girassol**. Circular Técnica n.13. Londrina, EMBRAPA-CNPSO,1996. 38p.

CASTRO, C. de; FARIAS, J.R.B. Ecofisiologia do Girassol. In: LEITE, R.M.V.B.C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. de. (Ed), **Girassol no Brasil**. Londrina: EMBRAPA Soja, 2005. p. 163-210.

CASTRO, C.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, R.F.; DECHEN, A.R. Boro e estresse hídrico na produção do girassol. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, Abr. 2006.

COMBE, J. ; BUDOWSKI, G. Classification of traditional agroforestry techniques. In: De Las Salas,G.(Ed.). Workshop on Traditional Agroforestry Systems in Latin America, 1979, Turrialba. **Proceedings...** Costa Rica: CATIE, 1979. p. 17-47.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: sexto levantamento**, Março/2013. Brasília: Conab, 2013.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Conjuntura mensal: Girassol, Dez./2012**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_01_07_10_29_59_girassoldezembro2012.pdf>. Acesso em: 6 mai. 2013.

CONNOR, J. D.; HALL, A. J. Sunflower physiology. In: SCHNEIDER, A. A. (Ed.). **Sunflower technology and production**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1997. p. 113-181.

COX, W.J. ; JOLLIFF, G.D. Growth and yield of Sunflower and Soybean under soil water deficits. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, p. 226-230, mar. 1986.

DAVIDSON, J. **Setting aside the idea that eucalyptus are always bad**. Working Paper n.10. Bangladesh, UNDP/FAO project BGD/79/017, 1985.

DEITENBACH, A.; FLORIANI, G.S.; DUBOIS, J.C.L.; VIVAN, J.L. **Manual agroflorestal para a Mata Atlântica**. Brasília: MDA, FAF, 2008. 194 p.

DEMIR, A.O.; GÖKSOY, A.T.; BÜYÜKCANGAZ, H.; TURAN, Z.M.; KÖKSAL, E.S. Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus L.*) in a sub-humid climate. **Irrigation Science**, v. 24, 279-289, jan. 2006.

DUBOIS, J.C.L. **Manual Agroflorestal para a Amazônia**. Rio de Janeiro: REBRAAF, 1996, v. 1, 228 p.

DOSIO, G.A.A.; AGUIRREZÁBAL, L.A.N.; ANDRADE, F.H.; PEREYRA, V.R. Solar radiation intercepted during seed filling and oil production in two sunflower hybrids. **Crop Science**, Madison, v. 40, p.1637-1640, nov. 2000.

DOSIO, G.A.A.; IZQUIERDO, N.G.; AGUIRREZÁBAL, L.A.N. La PAR afectó la dinámica de llenado y de acumulación relativa de aceite en frutos de girasol del híbrido DKG-100. **Revista de la Facultad de Agronomía de Buenos Aires**, v.17, p.124-171,1997.

DRAGOVIĆ, S.; RADOJEVIĆ, V.; CICMIL, M.; UŠĆUMLIĆ, M.; V. RADOJEVIĆ. Water requirement and effect of irrigation of field crops under the agro-climatic conditions of Serbia. BALWOIS, North America, fev. 2012. Disponível em: <<http://ocs.balwois.com/index.php?conference=BALWOIS&schedConf=BW2012&page=paper&op=view&path%5B%5D=182&path%5B%5D=298>>. Acesso em: 12 mai. 2013.

ECHARTE, M.M.; ANGELONI, P.; JAIMES, F.; TOGNETTI, J.; IZQUIERDO, N.G.; VALENTINUZ, O.; AGUIRREZÁBAL, L.A.N. Night temperature and intercepted solar radiation additively contribute to oleic acid percentage in sunflower oil. **Field Crops Research**, Amsterdam , v. 119, p. 27-35, jun. 2010.

EL-ROKIEK, K.G.; EL-NAGDI, W.M. Dual effects of leaf extracts of eucalyptus citriodora on controlling purslane and root-knot nematode in sunflower. **Journal of plant protection research**, Poznań, v.51, p. 121-129, jan. 2011.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **How to feed the world in 2050**. Disponível em:<http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf>. Acesso em: 4 mai.2013.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Advancing Agroforestry on the Policy Agenda : A guide for decision-makers**. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/017/i3182e/i3182e00.pdf>>. Acesso em: 4 mai. 2013.

GILLESPIE, A.R.; JOSE, S.; MENGEL, D.B.; HOOVER, W.L.; POPE, P.E.; SEIFERT, J.R.; BIEHLE, D.J.; STALL, T.; BENJAMIN, T.J. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA: Production physiology. **Agroforestry Systems**, v. 48, p. 25-40, fev. 2000.

GOYNE, P.J.; HAMMER, G.L. Phenology of sunflower cultivars. II. Controlled-environment studies of temperature and photoperiod effects. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood , v. 33, n. 2, p. 251-261, 1982.

GRIEU, P. ; MAURY, P. ; DEBAEKE, P. ; SARRAFI, A. Améliorer la tolérance à la sécheresse du tournesol: apports de l'écophysiologie et de la génétique. **Innovations Agronomiques**, Paris, v. 2, p. 37-51, jun. 2008.

HARRIS, H.C.; MC WILLIAM, J. R. ; MASON, W.K. Influence of temperature on oil content and composition of sunflower seed. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 29, p. 1203-1212, 1978.

HIGA, R.C.V.; MORA, A.L.; HIGA, A.R. **Plantio de eucalipto na pequena propriedade rural**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 31p. (Documentos, 54).

IZQUIERDO, N.G. ; AGUIRREZÁBAL, L.A.N.; ANDRADE, F.H.; GEROUDET, C.; VALENTINUZ, O.; IRAOLA, M.P. Intercepted solar radiation affects oil fatty acid composition in crop species. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 114, p. 66-74, jul. 2009.

JOSE, S.; GILLESPIE, A.R.; SEIFERT, J.R.; MENGEL, D.B.; POPE, P.E. Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA: Competition for nitrogen and litter decomposition dynamics. **Agroforestry Systems**, v. 48, p. 61-77, fev. 2000.

KANG, B.T.; WILSON, G.F.; SIPKENS, L. Alley cropping maize (*Zea mays* L.) and *Leucaena* (*Leucaena leucocephala* Lam) in southern Nigeria. **Plant and Soil**, v.63, p. 165-179, 1981.

KANG, B.T. Alley cropping: past achievements and future directions. **Agroforestry Systems**, v.23,p. 141-155, 1993.

LAMM, F.R.; R.M. AIKEN; A.A. ABOUKHEIRA. Irrigation research with sunflowers in Kansas. In: CENTRAL PLAINS IRRIGATION CONFERENCE, 23, fev. 2011, Burlington, Colorado. **Proceedings...** Thompson, Colby, Kansas: CPIA, 2011, p. 169-180.

LIMA, W. de P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2.ed. São Paulo: EdUSP, 1996. 272 p. ISBN: 85-314-0081-3.

LINDSTRÖM, L.I.; PELLEGRINI, C.N.; AGUIRREZÁBAL, L.A.N.; HERNÁNDEZ, L.F. Growth and development of sunflower fruits under shade during pre and early post-anthesis period. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 96, p.151-159, jun. 2006.

MACEDO, R. L. G.; BEZERRA, R.G.; VENTURIN, N.; VALE, R.S.; OLIVEIRA, T.K. Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agrônômicas de milho cultivado em sistema silviagrícola. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.5, p.701-709, out. 2006.

MAPA. **Ministério da Agricultura, pecuária e abastecimento: Financiamento**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc/financiamento>>. Acesso em: 5 mai. 2013.

MARIN, F. R.; SENTELHAS, P. C.; UNGARO, M. R. G. Perda de rendimento potencial da cultura do girassol por deficiência hídrica, no Estado de São Paulo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 1-6, mar. 2000.

MARTÍNEZ, R.D.; IZQUIERDO, N.G.; BELO, R.G.; AGUIRREZÁBAL, L.A.N.; ANDRADE, F.; REID, R. Oil yield components and oil quality of high stearic-high oleic sunflower genotypes as affected by intercepted solar radiation during grain filling. **Crop & Pasture Science**, Collingwood, v. 63, p. 330-337, jun. 2012.

MASSIGNAM, A.M. **Determinação de temperaturas-bases, graus-dia e influência de variáveis bioclimáticas na duração de fases fenológicas de cultivares de girassol (*helianthus annuus* L.)**.1987, 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MASSIGNAM, A.M.; ANGELOCCI, L.R. Determinação da temperatura-base e de graus-dia na estimativa da duração dos subperíodos de desenvolvimento de três cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p. 71-79, jul. 1993a.

MASSIGNAM, A.M.; ANGELOCCI, L.R. Relações entre temperatura do ar, disponibilidade hídrica no solo, fotoperíodo e duração de subperíodos fenológicos do girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p. 63-69, jul. 1993b.

MERRIEN, A. Physiologie du tournesol. Paris : CETIOM, 1992. 66p.

MILLER, R. P.; NAIR, P.K.R. Indigenous agroforestry systems in Amazonia: from prehistory to today. **Agroforestry Systems**, v.66, p. 151-164, fev. 2006.

MME. **Ministério de Minas e Energia-Oferta de Biocombustíveis Líquidos**. Disponível em:<http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/noticias/2009/01_janeiro/Oferta_Biocombustiveis_Liquidos.pdf>. Acesso em: 8 jun. 2013.

MULONGOY, K.; VAN DER MEERSCH, M.K. Nitrogen contribution by leucaena (*Leucaena leucocephala*) prunings to maize in an alley cropping system. **Biology and Fertility of Soils**, Firenze, v.6, p. 282-285, ago. 1988.

NAIR, P.K.R. Classification of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v3, p. 97-128, jun. 1985.

NAIR, P.K.R.; KUMAR, B.M.; NAIR, V.D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 172, p. 10-23, fev. 2009.

NOGUEIRA, S.S.S.; PEDRO JR.; M.J.; SANTOS, R.R. Temperatura-base e graus-dia para cultivares de girassol. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.2, p. 43-49, mai. 1994.

NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F. ; NOVAIS, R.F. (Ed.) **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.25-98.

OLIVEIRA, E.J. **Papel da cooperação no desenvolvimento dos micro e pequenos empreendimentos de mel em Cassilândia, Mato Grosso do Sul**. 82 f. Dissertação

(Mestrado em Desenvolvimento Local), Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2007.

PALUDZYSZYN, E. F.; SANTO, P.E.T.; FERREIRA, C.A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Documentos n. 129. Colombo, EMBRAPA-CNPQ, 2006. 45p.

PASSOS, C.A.M. **Sistemas agroflorestais com eucalipto para uso em programas de fomento florestal, na região de Divinópolis, MG**. 1996. 146p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PORFÍRIO DA SILVA, V. **Modificações Microclimáticas em Sistema Silvopastoril com Grevillea robusta A. Cunn. Ex. R. Br. Na Região Noroeste do Paraná**. 1998. 152p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

POORE, M. E. D.; FRIES, C. **The ecological effects of eucalyptus**. Forestry Paper n. 59. Roma, FAO, 1985. 100p.

REYNOLDS, P.E.; SIMPSON, J.A.; THEVATHASAN, N.V.; GORDON, A.M. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. **Ecological Engineering**, v. 29, p. 362-371, set. 2007.

RIBEIRO, M. F. S. **Desempenho Agrônomo e Econômico da cultura do Girassol em Sistemas de Agricultura Familiar do Sudeste do Paraná, PR**. 2010. 156 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

RIBEIRO, M. F. S.; RAIHER, A. P.. Desempenho econômico da cultura do girassol em sistemas de agricultura familiar do sudeste paranaense. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 5, mai. 2013 .

ROBINSON, R.G. Production and culture. In: CARTER, J.F. (Ed). **Sunflower science and technology**. Madison: ASA, 1979. p. 89-95.

ROBINSON, R.G. Sunflower performance relative to size and weight of achenes planted. **Crop Science**, Madison, v.14, n. 5, p. 616-618, set. 1974.

RODIGHERI, H.R. **Rentabilidade econômica comparativa entre plantios florestais e sistemas agroflorestais com erva-mate, eucalipto e pinus e as culturas do feijão, milho, soja e trigo**. Circular técnica n. 26. Colombo, EMBRAPA-CNPQ, 1997. 36p.

ROSSI, R. **O Girassol**. Curitiba: Tecnagro. 1998. 333p.

SCHROTH, G.; FONSECA, G.A.B.; HARVEY, C.A.; VINCENT, G. Complex agroforests: their structure, diversity and potential role in landscape conservation. In: SCHROTH, G.; FONSECA, G.A.B.; HARVEY, C.A.; GASCON, C.; VASCONCELOS, H.L.; IZAC, A-M.N. (Ed). **Agroforestry and Biodiversity Conservation in Tropical Landscapes**. Washington: Island P ress, 2004. p. 227-260.

SCHNEITER, A.A.; MILLER, J.F. Description of sunflower growth stages. **Crop Science**, Madison, v.21, n.6, p. 901-903, nov. 1981.

SILVA, H.R.F.; AQUINO, L.A.; BATISTA, C.H. Efeito residual do adubo fosfatado na produtividade do girassol em sucessão do algodoeiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 5, p. 786-793, out. 2011.

SILVA, L.A.M.; MOURA, J.M.; FERNANDES, A.T. Crédito de carbono: reflexões ambientais e econômicas para o mercado brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 3, 2012, Goiânia. **Anais...** Goiânia: IBEAS, 2012. p.1-18.

SIONIT, N.; GHORASHI, S. R.; KHERADNAN, M. Effect of soil water potencial on growth and yield of sunflower (*Helianthus annuus* L.). **The Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 81, n.1, p. 113-116, ago. 1973.

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

SORIANO, M.A. ; ORGAZ, F. ; VILLALOBOS, F.J. ; FERERES, E. Efficiency of water use of early plantings of sunflower. **European Journal of Agronomy**, v. 21, p. 465-476, dez. 2004.

SMITH, N.J.H., FALESI, I.C., ALVIM, P.T., SERRÃO, E.A.S. Agroforestry trajectories among smallholders in the Brazilian Amazon: innovation and resiliency in pioneer and older settled areas. **Ecological Economics**, v. 18, p.15-27, jul. 1996.

STEFFANI, M.A. **Implicações sócio-econômicas do cumprimento do código florestal: estudo de casos em unidades de produção familiares em Mariópolis-PR.** 2012. 115f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional) - Universidade Tecnológica Federal do Parana, Pato Branco.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 3. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2004. 720 p. ISBN: 85-363-0291-7.

THOMAZ, G. L. **Comportamento de cultivares de girassol em função da época de semeadura na região de Ponta Grossa, PR.** 2008. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

THOMAZ, G.L.; ZAGONEL, J.; COLASANTE, L.O.; NOGUEIRA, R.R. Produção do girassol e teor de óleo nos aquênios em função da temperatura do ar, precipitação pluvial e radiação solar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, p.1380-1385, ago. 2012.

TRIBOI, E.; BLONDEL, A.M.T. Productivity and grain or seed composition: a new approach to an old problem. **European Journal of Agronomy**, v. 16, p. 163-186, abr. 2002.

USDA. United States Department of Agriculture: Foreign Agricultural Service. **Table 14: Sunflower seed area, yield and production.** Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/wap/current/>>. Acesso em: 5 mai. 2013.

UNGER, P.W. Sunflower. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. (Ed.) **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA, 1990. p. 775-794.

WESTMAN, E. **Growth response of eucalyptus hybrid clone when planted in agroforestry systems: An approach to mitigate social land conflicts and sustain rural livelihood**. 2010. 29 f. Dissertação (Mestrado em ciências florestais) - Faculty of Forest Sciences, SLU, Suécia.

YAWSON, D.O.; BONSU, M.; ARMAH, F.A; AFRIFA, E.K.A. **Journal of Agricultural and Biological Science**, v. 6, n.1, p. 1-8 NO. 1, jan. 2011.

ZOU, X.; SANFORD, R.L. Agroforestry systems in China: a survey and classification. **Agroforestry Systems**, v. 11, p. 85-94, mai. 1990.

ANEXOS

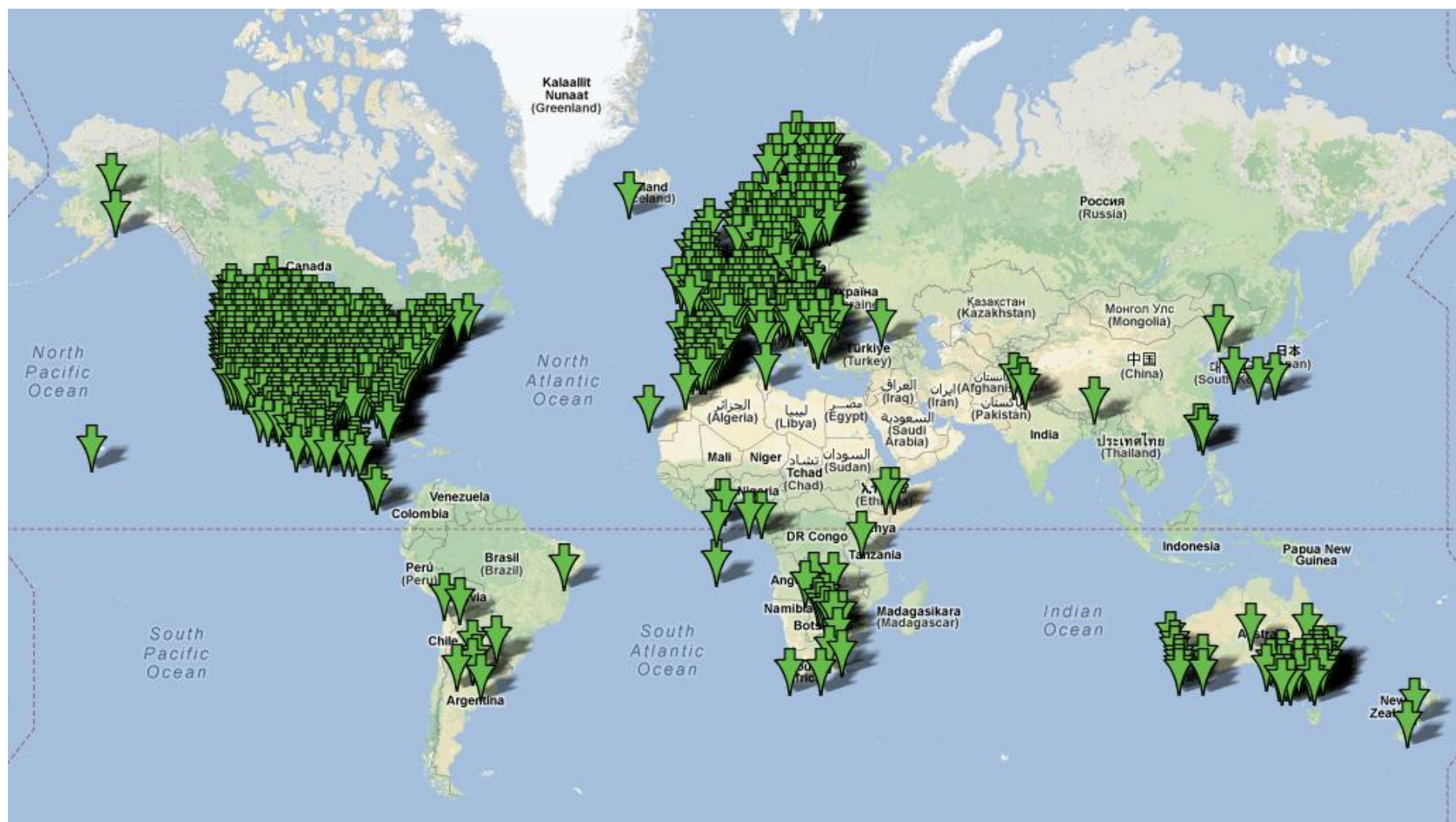


Figura 10 ANEXO 1. Mapa da distribuição global da cultura do girassol. Fonte: FAO 2013-Global Biodiversity Information Facility (GBIF).

ANEXO 2. Descrição dos estádios fenológicos da cultura do girassol (CASTRO; FARIAS, 2005)

Fase vegetativa

Esta fase inicia-se com a emergência das plântulas e finaliza com o início do aparecimento do botão floral. Após a emergência, os estádios são definidos em função do número de folhas (CASTRO; FARIAS,2005). É dividida em:

- VE (emergência): refere-se ao período compreendido entre a sementeira até o aparecimento da primeira folha acima dos cotilédones, o hipocótilo se eleva e os cotilédones emergem na superfície do solo, finalizando com o primeiro par de folhas verdadeiras inferiores a 4 cm de comprimento.
- Vn: caracteriza-se pelo aparecimento de folhas verdadeiras e pode ser definida pelo número de folhas de comprimento superior a 4 cm, iniciando em V1 e seguindo até Vn. Na existência de folhas senescentes, para efeito de contagem e caracterização do estádio, deve-se considerar também o número de folhas ausentes.

Fase reprodutiva

Esta fase inicia-se com o aparecimento do botão floral e termina com a maturação fisiológica dos aquênios (CASTRO; FARIAS, 2005). É dividida em:

- R1: refere-se ao estádio no qual a inflorescência circundada pela bráctea imatura torna-se visível. Portanto, olhando a planta de cima, observa-se um pequeno botão floral. Neste ponto, as brácteas ao redor do botão floral têm o formato de estrela, porém com muitas pontas.
- R2: o internódio imediatamente abaixo da base da inflorescência alonga-se de 0,5 a 2,0 m acima da folha mais próxima da inflorescência inserida no caule. Algumas plantas podem ter brácteas adventícias na base do capítulo, as quais devem ser desconsideradas na descrição desse estádio.

- R3: refere-se à segunda fase de alongamento do botão floral, o internódio imediatamente abaixo do botão reprodutivo encontra-se a uma distância superior a 2,0 cm acima da folha mais próxima da inflorescência.
- R4 (floração inicial): A inflorescência começa a abrir. Caracteriza-se por apresentar as primeiras flores liguladas.
- R5: refere-se à segunda fase do florescimento, caracterizando-se pelo início da antese. As flores liguladas estão completamente expandidas e todo o disco das flores está visível. Este estágio pode ser dividido em sub-estádios, dependendo da área do capítulo, com a fecundação das flores tubulares completas ou em antese. Por exemplo, se 50% das flores do disco estão fecundadas ou em antese, é o estágio R 5.5. Pode ser dividida em subfases conforme a porcentagem de flores tubulares do capítulo que estão abertas (eg.:R 5.9 – 90% das folhas do capítulo estão abertas).
- R6 (floração final): refere-se à terceira fase do florescimento. Nesse estágio a antese está completa e as flores liguladas perderam a turgidez e estão murchando. As flores liguladas podem não murchar e a abscisão ocorrer imediatamente.
- R7: refere-se à primeira fase de desenvolvimento de aquênios. o dorso do capítulo torna-se amarelo-claro. O amarelecimento pode iniciar pelo centro do dorso do capítulo, próximo à base do receptáculo, ou pelas bordas, adjacente às brácteas.
- R8: refere-se à segunda fase de desenvolvimento de aquênios. O dorso do capítulo torna-se amarelo escuro, porém as brácteas ainda estão verdes.
- R9 (maturação fisiológica): refere-se à fase de maturação dos aquênios. As brácteas adquirem a coloração entre amarela a castanha. Nesse ponto, grande parte do dorso do capítulo torna-se castanho.

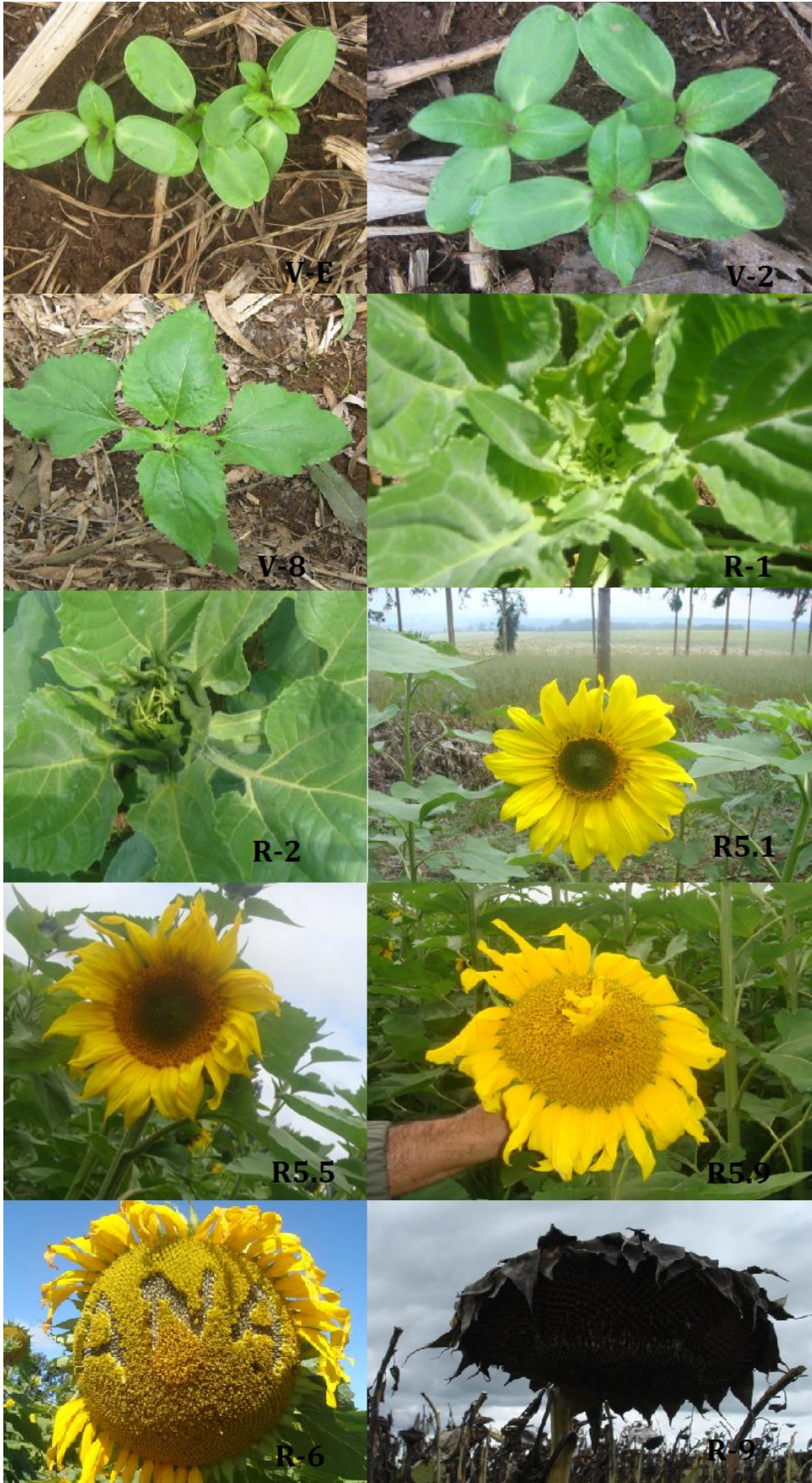


Figura 11. Estádios fenológicos do girassol.



Figura 12. Efeito provocado pelo ataque do fungo *Sclerotinia sclerotiorum*.



Figura 13. Desenvolvimento do girassol no SAF: Tendência de redução na altura de plantas nas faixas adjacentes aos renques de eucalipto.

A.**B.**

Figura 14. Girassol cultivado A: no SAF; B: em monocultivo.