

Sistemas Agroflorestais: Resultados, aplicações e desafios

Felipe Schwerz
Braulio Otomar Caron
Elvis Felipe Elli
Organizadores



Sistemas Agroflorestais: Resultados, aplicações e desafios

Felipe Schwerz
Braulio Otomar Caron
Elvis Felipe Elli
Organizadores

Sistemas Agroflorestais: Resultados, aplicações e desafios



Lavras - MG
2022

© Editora UFLA 2022 by Felipe Schwerz, Bráulio Otomar Caron, Elvis Felipe Elli (Organizadores). Este livro é de uso livre e gratuito e pode ser copiado na íntegra ou em partes, desde que se cite a fonte. Qualquer dúvida ou informações, entre em contato conosco pelo e-mail: editora@editora.ufla.br O conteúdo desta obra, além de autorizações relacionadas à permissão de uso de imagens e/ou textos de outro(s) autor(es), é de inteira responsabilidade do(s) autor(es) e/ou organizador(es). Direitos de publicação reservados à Editora UFLA. Impresso no Brasil - ISBN: 978-65-86561-23-4

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Reitor: João Chrysostomo de Resende Júnior
Vice-Reitor: Valter Carvalho de Andrade Júnior
Pró-Reitor de Pesquisa: Luciano José Pereira

CONSELHO EDITORIAL

Flávio Monteiro de Oliveira (Presidente), Patrícia Carvalho de Moraes (Vice-Presidente), Andréia da Silva Coutinho, Angélica Souza da Mata, Camila Souza de Oliveira Guimarães, Erick Darlisson Batista, Fernanda Gomes e Souza Borges, Giancarla Aparecida Botelho Santos, Giovanna Rodrigues Cabral, Graziane Sales Teodoro, Ilsa do Carmo Vieira Goulart, Lucas Rezende Gomide, Maria das Graças Cardoso, Patrícia Aparecida Ferreira, Roney Alves da Rocha, Rony Antônio Ferreira, Zuy Maria Magriotis.

EXPEDIENTE EDITORA UFLA

Flávio Monteiro de Oliveira (Diretor)	Patrícia Carvalho de Moraes (Vice-Diretora)
Alice de Fátima Vilela	Renata de Lima Rezende
Damiana Joana Geraldo Souza	Vítor Lúcio da Silva Naves
Késia Portela de Assis	Walquíria Pinheiro Lima Bello
Marco Aurélio Costa Santiago	

Revisão de português: Aline Fernandes Melo

Referências: Trindade Monografias - Bibliotecária: Wilselände de Oliveira

Ficha catalográfica elaborada pelo Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Universitária da UFLA

Sistemas agroflorestais : resultados, aplicações e desafios / organizadores: Felipe Schwerz, Bráulio Otomar Caron, Elvis Felipe Elli, organizadores. – Lavras : UFLA, 2022.
101 p. : il. ; 21 cm.

Bibliografia.

1. Agricultura sustentável. 2. Agrometeorologia. 3. Legislação ambiental. 4. Produção vegetal. 5. Sistemas integrados. I. Schwerz, Felipe. II. Caron, Bráulio Otomar. III. Elli, Elvis Felipe. IV. Universidade Federal de Lavras.

CDD – 634.99

Ficha elaborada por Eduardo César Borges (CRB 6/2832)



EDITORA UFLA

Campus Universitário da UFLA, Andar Térreo do Centro de Eventos, Cx. Postal 3037,
CEP 37200-900 - Lavras/MG, Tel: (35) 3829-1532 - (35) 3829-1551
E-mail: editora@ufla.br, Homepage: www.editora.ufla.br

Organizadores



Felipe Schwerz

Professor na Universidade Federal de Lavras, na área de Agrometeorologia, Lavras, Brasil. Experiência nas áreas de agrometeorologia, produção vegetal, sistemas agroflorestais e recursos dendroenergéticos.
felipe.schwerz@ufla.br



Braulio Otomar Caron

Professor na Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen, na área de agrometeorologia, Frederico Westphalen, Brasil. Experiência nas áreas de agrometeorologia, produção vegetal e sistemas agroflorestais.
otomarcaron@yahoo.com.br



Elvis Felipe Elli

Pesquisador associado na modalidade de Pós-doutorado pela Iowa State University, Estados Unidos. Experiência nas áreas de agronomia e silvicultura, com ênfase em agrometeorologia e modelagem agrometeorológica.
elvisfelipeelli@gmail.com

Autores

Claiton Nardini

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência Agrônômica e Ambiental na Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen, Brasil. Experiência nas áreas de Agrometeorologia, Produção Vegetal, Biomassa Florestal e Sistemas Agroflorestais.
claitonnardini@live.com

Daniele Cristina Fontana

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil. Experiência nas áreas de horticultura, plantas medicinais e inovação tecnológica na área fitossanitária.
daani_fontana@hotmail.com

Denise Schmidt

Professora na Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen, na área de horticultura, Frederico Westphalen, Brasil. Experiência nas áreas de agronomia com ênfase em horticultura, sistemas hidropônicos e morfologia vegetal.
denise@ufsm.br

Elder Eloy

Professor na Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen, na área de tecnologia e utilização de produtos florestais, Frederico Westphalen, Brasil. Experiência nas áreas de tecnologia da madeira: qualidade e uso da madeira, energia da biomassa, sistemas agrícolas e agrometeorologia.
eloyelder@yahoo.com.br

Jaqueline Sgarbossa

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia na Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil. Experiência nas áreas de agronomia, agrometeorologia, produção vegetal (ênfase em sistemas agroflorestais).
sgarbossajs@yahoo.com

Apresentação

A academia na sua essência busca não apenas formar profissionais moldados em técnicas e tecnologias, mas também contribui para a formação intelectual e pessoal dos estudantes que passam anos estudando e assimilando os conteúdos ministrados nos mais diferentes campos do conhecimento.

É inegável a contribuição do agronegócio brasileiro para o crescimento do País. A cada ano, mais técnicas e tecnologias surgem no cenário nacional e internacional, ficando dispostas para serem utilizadas conforme a capacidade de pagamento do investidor rural. Nem todos os participantes da cadeia produtiva brasileira possuem condições de aplicar de forma objetiva as novidades que surgem em função do alto custo. Neste sentido, existem técnicas de produção que podem ser utilizadas a custo baixo e que ao longo do tempo podem trazer ganhos em todas as áreas.

O livro “Sistemas Agroflorestais: Resultados, Aplicações e Desafios” traz uma contribuição para o agronegócio, pois os sistemas agroflorestais – SAFs constituem uma técnica de produção alternativa ao sistema de produção convencional, amplamente utilizado no agronegócio brasileiro e ensinado na academia. Os SAFs contribuem para o melhor uso da terra, melhoria das condições do solo, proporcionam diversidade e sustentabilidade no sistema de produção e melhoram as condições ambientais.

A diversidade é dada pelo compartilhamento na mesma área por árvores e culturas anuais ou semiperenes. Não existe uma regra específica para “criar” um SAFs, ou seja, não temos um “modelo pronto” para ser aplicado. Em uma mesma região podem existir diversas alternativas, conforme a necessidade que se queira dar, sobretudo ao componente arbóreo. O segredo é estudar as relações ecológicas dos diferentes elementos e buscar potencializá-los no tempo e no espaço, aliado ao entendimento da dinâmica da radiação solar incidente, especialmente a transmitida para o sub-bosque.

O manejo dos SAFs é complexo, pois exige a aplicação da interdisciplinaridade e busca entender as diferentes relações ecológicas das plantas, bem como suas interações, por exemplo, como a diminuição da radiação solar afeta a anatomia e morfologia da cultura anual que poderá interferir em sua fotossíntese e seu crescimento em sub-bosque.

A escolha das espécies florestais, bem como o seu arranjo, deverá potencializar o crescimento desta espécie e possibilitar que a cultura anual presente no sub-bosque tenha condições de expressar o seu crescimento e desenvolvimento, a fim de potencializar a produtividade. A experiência que será trazida nos capítulos deste livro mostrará que em sistemas de produção caracterizados por pequenas propriedades rurais, a produtividade não atingiu os patamares do sistema de monocultivo, no entanto, ficaram várias vezes acima da média da região de estudo. A ideia não é competir com o sistema tradicional de cultivo, e sim, aplicar conhecimentos adquiridos na academia para potencializar o uso dos SAFs como uma alternativa ao sistema de produção vigente.

Propor o cultivo em SAFs é buscar se desafiar, como pesquisador, a utilizar do método científico para trabalhar alternativas que se tornem viáveis ao longo do tempo no aspecto ambiental, econômico e social. Exige habilidade técnica, pois envolve diferentes áreas do conhecimento a começar pelo componente arbóreo que se torna o diferencial, pois modifica toda a dinâmica de crescimento da própria espécie florestal, bem como modifica os elementos meteorológicos no interior dos SAFs, e conseqüentemente, as condições para o crescimento e desenvolvimento das plantas em sub-bosque.

Neste contexto, o livro “Sistemas Agroflorestais: Resultados, Aplicações e Desafios” traz contribuições positivas com relação ao cultivo de culturas anuais nos SAFs, com base em diversos estudos realizados, abrangendo diferentes culturas e combinações de SAFs, os quais podem ser aplicados pelos produtores rurais. Traz ainda o desafio de continuar estudando algumas culturas mais exigentes para introduzir como alternativa no SAF estudado, como é o caso da soja. Mas, o que seria da ciência se não fossem os problemas, as dúvidas, as hipóteses e os objetivos específicos? Alternativas devem ser estudadas e o método científico deve ser aplicado para se obter resultados, mesmo que muitas vezes os resultados não são os esperados, e infelizmente, e por esse motivo deixam de ser publicados ou de ter relevância.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os acadêmicos dos cursos de agronomia e engenharia florestal que participaram como voluntários ou bolsistas de iniciação científica e mestrado na elaboração, execução e construção, tanto do projeto como da implementação e obtenção dos resultados que geraram frutos em forma de artigos científicos, bem como deste livro.

Registra-se também o agradecimento à Cooperativa Mista de Produção, Industrialização e Comercialização de Biocombustíveis do Brasil, pela cedência do espaço onde está instalada a área experimental.

Os professores Braulio Otomar Caron e Denise Schmidt agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelas bolsas de produtividade.

Sumário

1 Sistemas Agroflorestais: abordagem geral e aplicabilidade	10
1.1 Definições e importância	11
1.2 Arranjo das árvores e seus efeitos em SAFs	12
1.3 Dinâmica da radiação solar no sub-bosque das árvores em SAFs	13
1.4 Referências bibliográficas	16
2 Resultados e experiências alcançadas de um experimento de sistema agroflorestal no Rio Grande do Sul	20
2.1 Resultados e desafios de um experimento de sistema agroflorestal	21
2.2 Experiências alcançadas por meio do sistema agroflorestal	25
3 Arranjo de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais:	
Interações intra e interespecíficas	31
3.1 Arranjo do plantio florestal	32
3.2 Interações intra e interespecíficas	33
3.3 Interações entre espécies florestais e agrícolas em SAFs	34
3.4 Considerações finais	38
3.5 Referências bibliográficas	38
4 Radiação solar e sua interação multiestrato em sistema agroflorestal	41
4.1 A radiação solar no sistema de produção	42
4.2 Características do estrato superior: “o efeito guarda-chuva”	43
4.3 Plantas do estrato inferior e o aproveitamento da radiação solar	44
4.4 O que pode ser feito para aumentar a captação de radiação solar pelos SAFs?	46
4.5 Considerações finais	49
4.6 Referências bibliográficas	50
5 Modificações anatômicas e fisiológicas de culturas presentes no sub-bosque em sistemas agroflorestais	53
5.1 Introdução	54
5.2 Modificações anatômicas e fisiológicas nas folhas	55
5.3 Considerações finais	58
5.4 Referências bibliográficas	58
6 Pastagens em sistemas agroflorestais	62
6.1 Introdução	63
6.2 Aspectos relacionados ao desempenho de forrageiras em SAFs	64

6.3 Considerações finais	67
6.4 Referências bibliográficas	67
7 Cultura da soja em sistemas agroflorestais	71
7.1 Importância da cultura da soja e principais alterações no sistema de cultivo	72
7.2 Estudos já desenvolvidos envolvendo o uso da soja em SAFs	73
7.3 Estratégias silviculturais e de manejo para mitigar efeitos negativos do sombreamento sobre a produtividade da soja	77
7.4 Considerações finais e futuros estudos	78
7.5 Referências bibliográficas	78
8 O milho em sistemas integrados de produção: implicações práticas e produtivas	82
8.1 A importância e inserção do milho em SAFs	83
8.2 Aspectos fitotécnicos no cultivo de milho em SAFs	85
8.3 Condições agrometeorológicas na cultura do milho em SAFs	88
8.4 Considerações finais	90
8.5 Referências bibliográficas	91
9 Sistemas Agroflorestais e seus aspectos legais	94
9.1 Histórico do Código Florestal	95
9.2 Definição de Áreas de preservação permanente e Reservas Legais	96
9.3 Áreas consolidadas	97
9.4 A inserção dos sistemas agroflorestais em áreas protegidas	98
9.5 Referências bibliográficas	100

Capítulo 8

O milho em sistemas integrados de produção: Implicações práticas e produtivas

Felipe Schwerz
Jaqueline Sgarbossa

8.1 A importância e inserção do milho em SAFs

O milho (*Zea mays*) é um dos cereais mais cultivados e produzidos no mundo. Apresenta grande importância na alimentação humana e animal, bem como na geração de energia por meio do etanol. No Brasil, é possível observar plantações dessa cultura em quase todos os Estados. Hoje, a grande maioria dos produtores utiliza o sistema monocultivo para sua produção, tanto aquele produzido na safra como o produzido na safrinha.

A partir dessa informação, surge uma pergunta importante: Por que cultivar milho em sistemas integrados de produção? O cultivo de milho em consórcio com outras culturas sejam anuais ou perenes, pode trazer inúmeros benefícios para o sistema de produção como um todo. Neste capítulo, abordaremos alguns aspectos fitotécnicos e agrometeorológicos relacionados à inserção da cultura do milho em sistemas integrados e discutiremos as interações existentes entre as plantas cultivadas em consórcio.

Primeiramente é importante saber quais são as formas de cultivo de milho em sistemas integrados, e o que já existe de estudos para fundamentar a discussão. Atualmente, o consórcio de milho com forrageiras anuais e perenes tem ganhado destaque a nível nacional e sido foco de muitas pesquisas (BORGHI; CRUSCIOL, 2007; DIAS et al., 2019; FREITAS et al., 2018; GARCIA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2010; PARIZ et al., 2017; SANTOS et al., 2019).

Um dos principais benefícios da integração milho-forrageira se refere à qualidade física e química do solo, uma vez que o crescimento contínuo da forrageira após a colheita do milho, proporciona inúmeros benefícios ao sistema de produção (Figura 24). Dentre os benefícios pode-se citar: i) maior cobertura e proteção do solo; ii) incremento de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes; iii) melhoria do controle de plantas daninhas; iv) favorecimento da absorção e retenção de água no solo, entre outros benefícios (BORGHI; CRUSCIOL, 2007; OLIVEIRA et al., 2010). Além disso, a forrageira pode servir como alimento para a exploração pecuária, a partir do final do verão até início da primavera.

Outra forma de integrar a cultura do milho nos sistemas de produção se dá por meio da integração milho-floresta (Figura 25). Neste sistema, temos o cultivo de milho intercalado entre as linhas de diferentes espécies florestais, seja para a produção de silagem ou para produção de grãos. No Brasil, inúmeros estudos avaliaram a resposta do milho nestes sistemas de produção (BERTALOT et al., 2008; MACEDO et al., 2006; MENDES et al., 2013; PONTES et al., 2018; PEZZOPANE et al., 2019; NARDINI et al., 2019). Os resultados destes estudos demonstram uma grande variabilidade na produção de acordo com o manejo realizado, principalmente aqueles relacionados com a escolha da espécie, o espaçamento e a densidade da espécie florestal, bem como o manejo nutricional das plantas. De modo geral, todos estes fatores estão relacionados com a radiação solar, a qual é um dos fatores que mais limita a produção de milho em consórcio com espécies florestais.

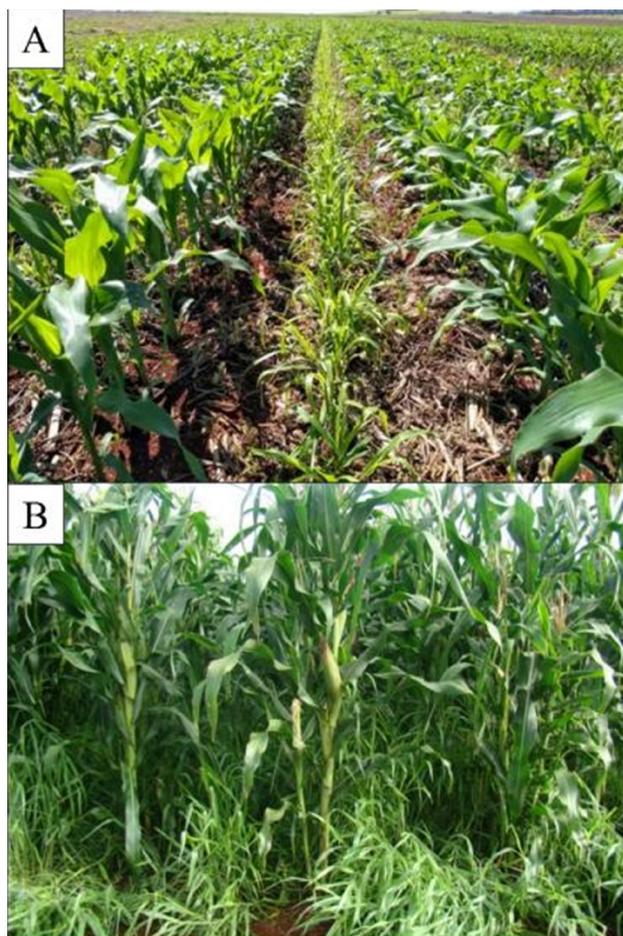


Figura 24 - Cultivo de milho em sistemas integrados com Brachiaria, sendo que A) representa a fase inicial de crescimento das culturas e B) período reprodutivo da cultura do milho.

Fonte: A) Alvadi Antônio Balbinot Júnior - Embrapa. B) Gessi Ceccon - Embrapa.



Figura 25. Cultivo de milho em consórcio com eucalipto.

Fonte: Júlio Cesar Salton - Embrapa Agropecuária Oeste (MS).

O interesse do cultivo de milho consorciado com espécies florestais é reconhecido mundialmente, sendo que inúmeros países possuem pesquisas voltadas para viabilizar e otimizar a produtividade do milho nos sistemas integrados de produção (BERTOMEU, 2012; HEINEMAN et al., 1997; MAO et al., 2012; MUGUNGA et al., 2017; NEWMAN et al., 1997; REYNOLDS et al., 2007; SMETHURST et al., 2017). É importante ressaltar que grande parte dos estudos citados acima, foram desenvolvidos por pesquisadores em diversas regiões da África.

Alguns dos principais aspectos abordados pelos estudos citados acima se referem aos benefícios da inserção e adoção do milho nos sistemas integrados de produção. Principalmente aqueles relacionados à i) melhoria dos processos de produção, incluindo estabilidade dos fatores econômicos e redução de riscos; ii) maiores chances de os produtores alcançarem o desenvolvimento sustentável apoiado pelo equilíbrio sociocultural; e iii) maior segurança alimentar para atender às necessidades dos consumidores em relação à qualidade dos produtos e dos processos de produção (FAO, 2010). Além disso, ressaltam a importância da diversificação no processo produtivo, o qual é essencial para apoiar os sistemas agrícolas intensivos, necessários para alcançar a segurança alimentar e reduzir a degradação dos recursos naturais.

O cultivo de milho, tanto em sistema integrado com forrageiras, bem como com espécies florestais, apresenta inúmeras vantagens, principalmente no sentido da diversificação no sistema produtivo. No entanto, alguns aspectos importantes devem ser levados em consideração no momento da implantação e do manejo desses sistemas integrados. Principalmente os aspectos fitotécnicos, relacionados ao manejo da cultura, tais como escolha dos genótipos, espaçamento e densidade de semeadura, arranjo das plantas, manejo fitossanitário e nutricional, entre outros. Os aspectos relacionados à agrometeorologia, tais como disponibilidade de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e disponibilidade hídrica. Uma combinação adequada de todos esses aspectos pode resultar em um sistema integrado, altamente produtivo e economicamente viável.

8.2 Aspectos fitotécnicos no cultivo de milho em SAFs

O sucesso do cultivo de milho em sistemas integrados de produção depende basicamente do manejo da cultura e das condições meteorológicas durante o ciclo produtivo. Dentre os aspectos fitotécnicos, a escolha do híbrido a ser utilizado é importante, pois dependendo das exigências do híbrido é possível adaptar a época de semeadura ao momento de maior disponibilidade de radiação solar por exemplo.

Além de escolher híbridos adaptados à região de cultivo e observando a finalidade da produção (silagem ou grão), algumas características dos híbridos são desejáveis para otimizar o uso dos recursos naturais, tais como a arquitetura foliar, é preferível que seja mais ereta possível, a fim de interceptar uma maior quantidade de radiação solar; tempo de duração do ciclo, híbridos de milho precoce são desejáveis em virtude do menor tempo de exposição a pragas e doenças, em virtude do microclima favorável nos sistemas integrados de produção.

Junto à escolha do híbrido a ser utilizado, a determinação do espaçamento e a densidade de semeadura são fundamentais para o estabelecimento e sucesso do sistema integrado de produção (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). O arranjo espacial das plantas é importante para otimizar o uso dos recursos naturais, tais como radiação solar e água, os quais determinam a produtividade da cultura. Na Figura 26 é possível observar que as plantas de milho crescidas próximas às espécies florestais apresentaram menor crescimento e produtividade em virtude da menor disponibilidade de radiação solar (NARDINI et al., 2019). Essa resposta também foi verificada em outros estudos (MUGUNGA et al., 2017; PEZZOPANE et al., 2019; REYNOLDS et al., 2007).



Figura 26 – Cultivo de milho em sistema integrado de produção com Eucalipto e Canafístula.
Fonte: Felipe Schwerz.

De modo geral, em sistemas integrados de produção deve-se preconizar o uso de espaçamentos mais amplos e menores densidades de plantas. Tal fato se deve à interação existente entre diferentes espécies crescendo na mesma área de cultivo, ou seja, a competição interespecífica implica em interações que afetam o crescimento e a produtividade das culturas. Neste sentido, a competição intraespecífica deve ser a mínima possível, uma vez que já existe a competição interespecífica.

Além do arranjo espacial de plantas o manejo fitossanitário da cultura do milho em sistemas integrados também sofre influência em virtude da alteração do microclima. Primeiramente, é importante destacar a grande complexidade das interações bióticas existentes nos sistemas integrados de produção, tanto para pragas como para doenças (SCHROTH et al., 2000).

O milho cultivado em consórcio com outras culturas tende a apresentar maior suscetibilidade a doenças em virtude do maior molhamento foliar das plantas. Dentre as

doenças, a ocorrência de manchas foliares, tais como ferrugem, cercosporiose e mancha branca estão entre as principais (SILVA et al., 2015). Tais doenças são favorecidas em microclima com alta umidade relativa do ar, longa duração do molhamento foliar, bem como temperaturas entre 15 e 25 °C, as quais são frequentemente observadas nos sistemas integrados de produção.

Neste sentido, o monitoramento e o manejo fitossanitário do milho cultivado em sistemas integrados devem ser mais criteriosos e exigem uma maior atenção por parte dos produtores e responsáveis técnicos, uma vez que em caso de atraso no manejo das doenças é possível observar uma perda significativa de produtividade (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). É importante destacar que, são escassos na literatura, estudos que quantificam o impacto das doenças de plantas sobre a produtividade de culturas em sistemas integrados, bem como, do efeito do microclima sobre a incidência de doença de plantas.

Quando relacionado ao manejo de pragas na cultura do milho em sistemas integrados, é possível afirmar que, devido às interações existentes, se observam diferenças quando comparado ao sistema monocultivo. O microclima formado tem impacto no desenvolvimento e na reprodução de algumas pragas, tais como o complexo de lagartas, sendo que temperaturas intermediárias favorecem a atividade delas (CIVIDANES; YAMAMOTO, 2002; CRUZ et al., 2015), sendo assim, o microclima pode favorecer a ocorrência de algumas pragas no cultivo de milho em sistemas integrados de produção. Neste sentido, tanto para doenças como para pragas, torna-se importante um monitoramento criterioso e manejo integrado, tanto de pragas como de doenças.

O microclima e a disponibilidade de radiação solar são fatores importantes para o manejo de pragas e doenças em sistemas integrados de produção (RAO et al., 2000). Ao estudar a resposta de pragas e doenças em sistemas agroflorestais, Schroth *et al.* (2000), destacaram os seguintes resultados: i) o risco de doenças e pragas não diminui automaticamente através da introdução de plantas perenes ou do aumento da diversidade de plantas no sistema; ii) se as plantas introduzidas hospedam pragas ou doenças de outras espécies no sistema, o risco de infecção aumenta; iii) a otimização da radiação solar é uma estratégia eficaz para minimizar a ocorrência de pragas e doenças; e iv) as práticas de manejo do solo, tais como a cobertura morta e o uso de plantas de cobertura, afetam a sanidade das plantas, melhorando a fertilidade do solo e impactando diretamente as populações de pragas e doenças.

Outro aspecto fitotécnico importante que afeta o crescimento e desenvolvimento do milho cultivado em sistemas integrados de produção se refere ao manejo nutricional. A adubação com fertilizantes é uma prática necessária e devido à complexidade das interações existentes, deve-se ter atenção com a recomendação do manejo a ser realizado.

Em condições em que o milho é consorciado com espécies florestais, temos uma contribuição significativa das árvores no manejo nutricional. As árvores desempenham dois papéis principais nos sistemas integrados de produção: fertilização e conservação do solo (ATANGANA et al., 2013). A fertilização ocorre via fixação simbiótica de N₂, ciclagem de nutrientes e envolvimento na formação da camada de húmus. A conservação do solo é

realizada através do controle da erosão e estabilização do solo por raízes que mantêm as propriedades físicas do solo. Ainda, a presença de árvores nos sistemas de cultivos integrados ajudam a reduzir as perdas de lixiviação de nutrientes, estimular as atividades da fauna do solo, melhorar a fertilidade, bem como manter altos níveis de produção agrícola (KANG, 1997).

Por outro lado, quando o cultivo de milho é associado ao de forrageiras, estudos demonstram que a demanda de nutrientes é a mesma do que o milho cultivado em monocultivo (BORGHI; CRUSCIOL, 2007; FREITAS et al., 2018; GARCIA et al., 2008). A principal diferença é que a adubação realizada para a cultura do milho é aproveitada posteriormente pela forrageira, o que favorece o crescimento e a produtividade da cultura que permanece após a colheita do milho. É importante destacar que as vantagens do cultivo de milho em sistema integrado não podem ser quantificadas apenas em termos de produtividade, pois alguns dos benefícios resultam de melhorias na preservação dos recursos naturais, controle de erosão e incremento na fertilidade dos solos.

8.3 Condições agrometeorológicas na cultura do milho em SAFs

O cultivo integrado entre plantas promove alterações nas condições micrometeorológicas do ambiente de produção, devido à coexistência de um estrato superior e inferior de plantas (interações multiestrato). Dentre os elementos meteorológicos, pode-se destacar a radiação solar, fonte primária de energia para o processo fotossintético e produção de plantas. Ao ser interceptada pela copa das árvores a radiação sofre alterações quantitativas e qualitativas, podendo ser refletida, absorvida e/ou transmitida (CARON et al., 2014), dependendo do ângulo de incidência dos raios solares (RIGHI et al., 2007), tamanho da copa, índice de área foliar e arquitetura da copa (PILAU et al., 2015). Sendo assim, toda a sua dinâmica no sub-bosque é alterada, devido às interações existentes com o estrato superior de plantas arbóreas.

Estudos demonstram grande variabilidade na incidência de radiação solar no interior dos SAFs. Gomes *et al.* (2020), estudando a dinâmica da radiação solar em diferentes pontos do sub-bosque de *Eucalyptus urograndis*, sob arranjo 30 x 3 x 3,5 m (30 m entre renques, 3 entre plantas na linha de plantio e 3,5 entre linhas - linhas triplas), verificaram alterações na disponibilidade deste elemento devido à proximidade ao renques de árvores. De maneira geral, os autores observaram que os valores de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) nas posições mais próximas aos renques de árvores (7,5 m - sentido norte e 7,5 m - sentido sul) corresponderam a apenas 60% e 75% da RAF obtida a pleno sol, enquanto a posição central (15 m) correspondeu a 92% ao obtido a pleno sol. Respostas similares foram observadas por Bosi, Pezzopane e Sentelhas (2020), que ao analisarem as alterações promovidas pelas árvores de *E. urograndis* (15 x 2 m) nas quantidades de RAF incidentes ao sub-bosque, verificaram reduções de 68% em posições adjacentes ao renque de árvores e de 44% em relação aos pontos centrais da parcela. Na Figura 27 podem ser observadas alterações na disponibilidade de radiação solar incidente no dossel de plantas de milho de acordo com o arranjo de plantas utilizado.



Figura 27 - Dinâmica da radiação solar no sub-bosque de Canafístula e Eucalipto, sob dois arranjos agroflorestais: arranjo 6 m x 3 m (A) e arranjo 12 m x 3 m (B).

Fonte: Jaqueline Sgarbossa.

A existência de um estrato superior de plantas resulta também em alterações na velocidade dos ventos, pois as árvores tornam-se barreiras a serem superadas pelas correntes de ar, impedindo a circulação livre dos ventos. Estudos em sistemas agroflorestais têm demonstrado reduções de 30% (BALISCEI et al., 2013) e 47% (PEZZOPANE et al., 2015) na velocidade do vento no sub-bosque, em comparação aos cultivos solteiros. Além disso, o uso de diferentes arranjos agroflorestais pode atenuar ou potencializar possíveis alterações na velocidade do vento.

Atenuações nas quantidades de radiação solar disponível e na velocidade do vento podem resultar em alterações nos demais elementos meteorológicos, como por exemplo, a

temperatura do ar e a umidade relativa. Gomes *et al.* (2016) observaram reduções de até 5,3 °C na temperatura média do ar, devido à existência de um estrato superior de plantas. Em contraponto, ao analisar diferentes pontos do sub-bosque, pode-se identificar que estas reduções se limitam às áreas adjacentes aos renques de árvores, não abrangendo os pontos centrais (KANZLER *et al.*, 2018; PEZZOPANE *et al.*, 2015). A maior temperatura nos pontos centrais dos sistemas agroflorestais está relacionada à ação das árvores, o que impede a circulação livre dos ventos, ocasionado menor remoção do calor sensível, bem como ao fato de que nestes pontos há maior incidência de radiação solar.

Repostas similares foram relatadas para a umidade relativa do ar, isto é, a existência de um estrato superior de plantas, impacta nos valores de umidade relativa a serem obtidos, sendo estes influenciados pela temperatura, velocidade dos ventos (PEZZOPANE *et al.*, 2015) e área sombreada (GOMES *et al.*, 2016). Neste contexto, Gomes *et al.* (2016), analisando as condições microclimáticas em sistemas agroflorestais, verificaram valores de umidade relativa no sub-bosque superiores em até 8,5% em relação àqueles observados a pleno sol.

Além das variáveis meteorológicas citadas acima, a duração do período de molhamento foliar (DPM) apresenta importante efeito na interação Patógeno x Hospedeiro x Ambiente. Em sistemas integrados de produção a DPM tende a ser maior em virtude da maior umidade relativa, menor incidência de radiação solar e, conseqüentemente, menor temperatura do ar, o que por sua vez torna o ambiente mais favorável para ocorrência de doenças. Neste sentido, alguns cuidados devem ser tomados durante o planejamento e a instalação destes sistemas de produção, como por exemplo, utilizar arranjos mais amplos favorecendo a entrada de radiação solar e renovação do ar, bem como escolher espécies adequadas para comporem o sistema. A escolha das espécies deve visar à complementaridade, a fim de otimizar o uso dos recursos naturais.

8.4 Considerações finais

A inserção da cultura do milho em sistemas integrados de produção já é uma realidade no Brasil, e cada vez mais vai se tornar uma alternativa importante para o aumento da resiliência dos produtores rurais, bem como para o aumento da produção agrícola. Outro aspecto importante que deve ser considerado são os benefícios ambientais, em virtude da maior preservação e eficiência do uso dos recursos naturais.

A apresentação e discussão, do conteúdo científico, realizadas neste capítulo indicam que há um grande campo para a pesquisa no sentido de avaliar outras combinações, com diferentes espécies e espaçamento de plantio, sobretudo a resposta produtiva e viabilidade econômica do cultivo de milho em sistemas integrados de produção. Esses ajustes podem otimizar o aproveitamento dos recursos naturais, especialmente a interceptação e o uso da radiação solar e água, bem como aumentar a rentabilidade e diversificação do sistema como um todo.

Por fim, para os produtores rurais, empresas agrícolas e demais pessoas ligadas ao sistema de produção, recomenda-se que, antes da implantação e/ou inserção da cultura do milho em sistemas integrados de produção, seja realizado um planejamento agrícola a fim de otimizar e facilitar o manejo da cultura, principalmente nos sistemas que envolvem espécies florestais.

8.5 Referências bibliográficas

- ATANGANA, A. *et al.* Integrated Pest Management in Tropical Agroforestry. *In: Tropical Agroforestry*. Dordrecht: Springer, p. 233-240, 2013.
- BALISCEI, M. A. *et al.* Microclimate without shade and silvipastoral system during summer and winter. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 35, p. 49-56, 2013.
- BERTALOT, M. J. A. *et al.* Análise econômica da produção de milho (*Zea mays*) sob sistema agroflorestal e tradicional. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 55, n. 5, p. 425-432, 2008.
- BERTOMEU, M. Growth and yield of maize and timber trees in smallholder agroforestry systems in Claveria, northern Mindanao, Philippines. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 84, p. 73-87, 2012.
- BORGHI, E.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade de milho, espaçamento e modalidade de consorciação com *Brachiaria brizantha* no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 2, p. 163-171, 2007.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C. (2020). Silvipastoral system with *Eucalyptus* as a strategy for mitigating the effects of climate change on Brazilian pasturelands. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 92, p. 1-15, 2020.
- CARON, B. O. *et al.* Eficiência no uso da radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* A. ST. HIL. cultivadas sob sombreamento e a pleno sol. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, p. 257-265, 2014.
- CIVIDANES, F. J.; YAMAMOTO, F. T. Pragas e inimigos naturais na soja e no milho cultivados em sistemas diversificados. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 4, p. 683-687, 2002.
- CRUZ, I. *et al.* Pragas do milho. *In: CRUZ, J. C.; VERSIANI, R. P.; FERREIRA, M. T. R. (Ed.). Cultivo do milho*. 8.ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.
- DIAS, R. C. *et al.* Weed management in agrosilvopastoral systems containing corn, palisadegrass, java, and eucalyptus. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 93, n. 4, p. 1339-1346, 2019.
- FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 360 p., 2000.

- FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Sete Lagoas consensus. *In: FAO. An international consultation on integrated crop-livestock systems for development*, Rome: FAO, p, 1-3, 2010.
- FREITAS, M. A. M. *et al.* Biological attributes of soil cultivated with corn intercropped with *Urochloa brizantha* in different plant arrangements with and without herbicide application. **Agriculture Ecosystems & Environment**, [S. l.], n. 254, p. 35-40, 2018.
- GARCIA, R. A. *et al.* Potassium cycling in a corn-brachiaria cropping system. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 28, n. 4, p. 579-585, 2008.
- GOMES, F. J. *et al.* Microclimate effects on canopy characteristics of shaded palisadegrass pastures in a silvipastoral system in the Amazon biome of central Brazil. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 115, p. 1-11, 2020.
- GOMES, L. C. *et al.* Trees modify the dynamics of soil CO₂ efflux in coffee agroforestry systems. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 224, p. 30-39, 2016.
- HEINEMAN, A. M. *et al.* Growth and yield of eight agroforestry tree species in line plantings in Western Kenya and their effect on maize yields and soil properties. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 91, n. 1, p. 103-135, 1997.
- KANG, B. T. Alley cropping-soil productivity and nutrient recycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 91, n. 1, p. 75-82, 1997.
- KANZLER, M. *et al.* Microclimate effects on evaporation and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield within a temperate agroforestry system. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 93, p. 1821-1841, 2018.
- MACEDO, R. L. G. *et al.* Desempenho silvicultural de clones de eucalipto e características agrônômicas de milho cultivados em sistema silviagrícola. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 701-709, 2006.
- MAO, L. *et al.* Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop. **Field Crops Research**, [S. l.], n. 138, p. 11-20, 2012.
- MENDES, M. M. S. *et al.* Desenvolvimento do milho sob influência de árvores de pau-branco em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 48, v. 10, p. 1342-1350, 2013.
- MUGUNGA, C. P.; GILLER, K. E.; MOHREN, G. M. J. Tree-crop interactions in maize-eucalypt woodlot systems in southern Rwanda. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 86, p. 78-86, 2017.
- NARDINI, C. *et al.* Growth and solar radiation use efficiency of corn cultivated in agroforestry systems. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, United Arab Emirates, v.21, n. 7, p. 535-543, 2019.

- NEWMAN, S. M.; BENNETT, K.; WU, Y. Performance of maize, beans and ginger as intercrops in Paulownia plantations in China. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 39, p. 23-30, 1997.
- OLIVEIRA, P. D. *et al.* **Sistema Santa Brígida-Tecnologia Embrapa: consorciação de milho com leguminosas.** (Circular Técnica-88). Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 16 p., 2010.
- PARIZ, C. M. *et al.* Silage production of corn intercropped with tropical forages in an integrated crop-livestock system with lambs. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 1, p. 54-62, 2017.
- PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. **Agroforestry systems**, Amsterdam, v. 93, n. 1, p. 39-49, 2019.
- PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Microclimate and soil moisture in a silvipastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 1, p. 110-119, 2015.
- PILAU, F. G.; ANGELOCCI, L. R. Leaf area and solar radiation interception by orange tree top. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 4, p. 476-482, 2015.
- PONTES, L. D. S. *et al.* Corn yield for silage and grains in different integrated crop-livestock systems. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 49, n. 2, p. 315-323, 2018.
- RAO, M. R.; SINGH, M. P.; DAY, R. Insect pests problems in tropical agroforestry systems: Contributory factors and strategies for management. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 50, p. 243-277, 2000.
- REYNOLDS, P. E. *et al.* 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**, [S. l.], v. 29, p. 362-371, 2007.
- RIGHI, C. A. *et al.* Measurement and simulation of solar radiation availability in relation to the growth of coffee plants in an agroforestry system with rubber trees. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 195-207, 2007.
- SANTOS, M. V. *et al.* Integrated crop-forage-forestry for sustainable agricultural systems: productive performance. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 94, p. 417-427, 2019.
- SCHROTH, G. *et al.* Pests and diseases in agroforestry systems of the humid tropics. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 50, p. 199-241, 2000.
- SILVA, D. D.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. Doenças do milho. *In*: Ed. Pereira Filho, I. A. **Cultivo do milho**. 9. ed. Sete Lagoas, MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.
- SMETHURST, P. J. *et al.* Accurate crop yield predictions from modelling tree-crop interactions in gliricidia-maize agroforestry. **Agricultural Systems**, [S. l.], v. 155, p. 70-77, 2017.