

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 Darlison 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 1

Sistemas Agroflorestais: abordagem geral e aplicabilidade

Elvis Felipe Elli
Felipe Schwerz

1.1 Definições e importância

Um dos maiores desafios na área das ciências agrárias, em todo o mundo, é gerar um equilíbrio entre a produção de alimentos e a preservação ambiental. Os sistemas de cultivo intensivo, comumente chamados de sistema de monocultivo, são responsáveis pela produção de um grande volume de alimentos e produtos agrícolas. No entanto, tais sistemas apresentam algumas fragilidades referentes à preservação ambiental, principalmente àquelas relacionadas ao uso dos recursos naturais, como água e nutrientes.

Neste sentido, o uso de sistemas integrados de produção, como os sistemas agroflorestais (SAFs), pode ser considerada uma estratégia promissora para equilibrar a preservação ambiental e a produção agrícola (BROOKER et al., 2015; GODFRAY et al., 2010; SCHWERZ et al., 2019). Na literatura existem muitas definições e formas de pensar os SAFs. A definição mais aceita e considerada pelos autores deste livro como a que melhor define tais sistemas de produção, é que os SAFs são sistemas de uso da terra caracterizados pela permanência deliberada, seja pela introdução de árvores ou outras culturas perenes em associação com culturas anuais e/ou animais (LUNDGREN; RAIN TREE, 1982; NAIR, 1993). A ideia básica é definida pela forma de uso integrado da terra, em que se aplicam práticas e técnicas ecologicamente sustentáveis por meio da combinação de diferentes espécies. Esta integração pode ocorrer de forma simultânea ou em sequência temporal, de acordo com a finalidade do sistema, em que a ideia é ocorrer mútuo benefício resultante das interações ecológicas e econômicas (NAIR, 1984). Considerando o atual conceito de SAFs, pode-se definir quatro combinações de componentes, sendo elas: Integração Lavoura-Pecuária (sistema agropastoril); integração Lavoura-Floresta (silviagrícola); integração Pecuária-Floresta (silvipastoril); e integração Lavoura-Pecuária-Floresta (agrosilvipastoril).

Existem inúmeros benefícios proporcionados pelos SAFs, como por exemplo, maior produção por unidade de área (LI et al., 2011; ZHANG et al., 2007), maior eficiência no uso da radiação solar, água e nutrientes pelas culturas presentes no sub-bosque (CARON et al., 2019; NARDINI et al., 2019; VANDERMEER, 2011), redução da erosão do solo (SEPÚLVEDA; CARRILLO, 2015), de ventos fortes (BAGLEY, 1988), maior conforto animal (no caso de sistemas silvipastoris e agrosilvipastoris) (PEZZOPANE et al., 2019), maior sequestro de carbono no solo (CONG et al., 2014; MAKUMBA et al., 2006) e aumento da entrada de matéria orgânica, o que auxilia na melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (PAULA et al., 2015; SALTON et al., 2013; TRACY; ZHANG, 2008). Com isso, fica evidente que os SAFs podem proporcionar uma ampla gama de serviços ecossistêmicos (FAO, 2017).

Além disso, os SAFs podem ser considerados como ferramentas importantes para mitigar impactos negativos das mudanças climáticas, devido ao alto sequestro de carbono na forma de biomassa acima e abaixo do solo comparado aos sistemas de monocultivo, bem como redução dos níveis de temperatura no sub-bosque arbóreo (BOSI et al., 2020; CONG et al., 2014; NGUYEN et al., 2013). Os SAFs também apresentam importantes contribuições e benefícios

sociais, principalmente aqueles relacionados à agricultura familiar. Isso porque, estes sistemas proporcionam uma maior diversificação da produção na propriedade rural, gerando produtos oriundos de atividades agrícolas, florestais e produção animal, mitigando riscos econômicos aos produtores rurais (ABDO et al., 2008; TAVARES, 2018; VIVAN; FIORIANI, 2006).

Um dos principais aspectos a ser considerado nos SAFs é a grande diversidade e possibilidade de combinações, isso para alcançar a maior produção para dado local e situação. Neste sentido, torna-se imprescindível o planejamento e implementação de SAFs específicos para cada situação agroecológica, de manejo e para determinado mercado. Com base nessas informações e de outros estudos presentes na literatura, os profissionais da área de ciências agrárias, extensionistas e produtores rurais interessados podem planejar a implantação e manejo do sistema de produção, considerando as condições específicas do local de produção.

Primeiramente, deve-se ter em mente que não existe fórmula ou exemplos prontos para aplicação generalizada pelos produtores. Isso porque a estrutura básica do sistema é formada por seus constituintes, por exemplo quais plantas utilizar, qual sua disposição na área, o que envolve posição, arranjo, orientação e espaçamento. Além disso, devido à grande diversidade de clima e solo, variedade de plantas a serem utilizadas, bem como a ampla variedade de combinações espaciais e temporais, torna-se praticamente impossível definir “modelos prontos” de produção.

Considerando a complexidade dos sistemas integrados de produção, é possível afirmar que os SAFs são, naturalmente, complexos e necessitam de uma abordagem multidisciplinar. Nesse sentido, as pessoas envolvidas neste setor de produção, sejam produtores rurais, técnicos ou extensionistas, precisam ter um adequado conhecimento das culturas, práticas de manejo e das condições edafoclimáticas do local de produção a fim de se obter sucesso na implantação e produção agrícola (RIGHI, 2015).

Os SAFs estão fundamentados nas interações existentes no contexto ecológico, econômico e social existentes num sistema de produção (RIGHI, 2015). As interações existentes estão relacionadas com a mudança de resposta dos componentes do sistema de produção. Nesse sentido, a maior ou menor proximidade (por exemplo espaçamentos de plantio mais próximos ou distantes) pode determinar o grau de interação entre os componentes do sistema. Atualmente, não existe uma regra definida para mensurar diretamente a interação entre as espécies, bem como das espécies com o meio. Uma das alternativas utilizadas e de fácil aplicação se refere à avaliação das modificações resultantes, por exemplo, crescimento e desenvolvimento das plantas, morfologia, anatomia, produtividade, entre outras variáveis (MULLER et al., 2014; PEZZOPANE et al., 2015; RIGHI, 2015; SCHWERZ et al., 2018).

1.2 Arranjo das árvores e seus efeitos em SAFs

A presença do componente arbóreo no sistema agroflorestal exerce grande influência nas interações entre seus componentes. As interações ocorrem no espaço e no tempo, o

que torna o sistema mais complexo (LUEDELING et al., 2016). O conhecimento da estrutura e característica do componente arbóreo, de seu conjunto (floresta) e do funcionamento dos processos ecológicos é necessário para o estabelecimento de sistemas integrados mais eficientes (RIGHI; BERNARDES, 2018).

A intensidade de interações, que pode aumentar ou reduzir a competição pelos recursos, depende do arranjo das plantas no local de produção, principalmente espaçamento e densidade. Sistemas agroflorestais comumente apresentam arranjos mais espaçados das espécies florestais, comparado com plantios arbóreos convencionais. Isto ocorre para possibilitar maior entrada de radiação solar para o crescimento e desenvolvimento das espécies presentes no sub-bosque (ELLI et al., 2016; SCHWERZ et al., 2018). Este fator é de extrema importância e deve ser cuidadosamente analisado antes que o SAFs seja implantado (para maiores informações, ver capítulo 4).

Para tanto, devem ser analisadas as características específicas do componente arbóreo, das espécies anuais que serão cultivadas no seu sub-bosque (condicionantes agrometeorológicos da produtividade) e características edafoclimáticas da região em questão. Por exemplo, um arranjo mais amplo possibilitará maior transmissividade de radiação solar para o sub-bosque arbóreo e fechamento posterior do dossel vegetativo, sendo muitas vezes um fator benéfico para as culturas agrícolas, principalmente na área de cultivo mais próxima ao renque das árvores (CARON et al., 2018; ELLI et al., 2016; NARDINI et al., 2019; SCHWERZ et al., 2018). Por outro lado, a produção de biomassa florestal por unidade de área será menor (ELOY et al., 2016, 2017), em detrimento à maior produção individual, como, por exemplo, maior diâmetro à altura do peito (DAP) e volume por árvore (BINKLEY et al., 2017). Nesse contexto, desbastes ou desramas são opções de manejo interessantes para manter um equilíbrio adequado entre a produção florestal e agrícola.

O crescimento consorciado com culturas agrícolas, e em espaçamentos maiores do que nos seus sistemas de monocultivo, resultam em uma menor competição entre as árvores. Tal fato é observado em virtude da pouca influencia das culturas anuais sobre as espécies florestais, isso porque os sistemas radiculares das espécies se encontram em diferentes posições e profundidades, o que determina as interações existentes.

1.3 Dinâmica da radiação solar no sub-bosque das árvores em SAFs

Em condições de campo, as culturas estão sujeitas à influência de diversos elementos meteorológicos que variam ao longo do espaço, tempo e definem o crescimento, desenvolvimento e potencial produtivo de um determinado sistema agrícola. As interações entre as culturas e o ambiente envolvem processos físicos, químicos e biológicos, cujo estudo e compreensão são altamente complexos (CHANG, 1968).

A captura e uso dos recursos naturais pelas plantas de um dado SAF, são determinadas pela natureza e intensidade dos processos biofísicos e interações entre seus componentes.

Dentre os recursos naturais, a radiação solar é um dos principais elementos meteorológicos que determina o sucesso do SAF. Isso porque a intensidade e qualidade da radiação solar é o que rege o crescimento e desenvolvimento vegetal por meio do processo fotossintético. Nos sistemas agroflorestais, os padrões da radiação solar são intensamente modificados, resultado das sobreposições de estruturas das copas que interceptam grande parte da radiação solar incidente, reduzindo sua chegada em estratos inferiores do dossel. Por outro lado, há um aumento da proporção de radiação difusa no interior dos SAFs, bem como, maior aprisionamento de ondas longas emitidas pela superfície (Figura 1).

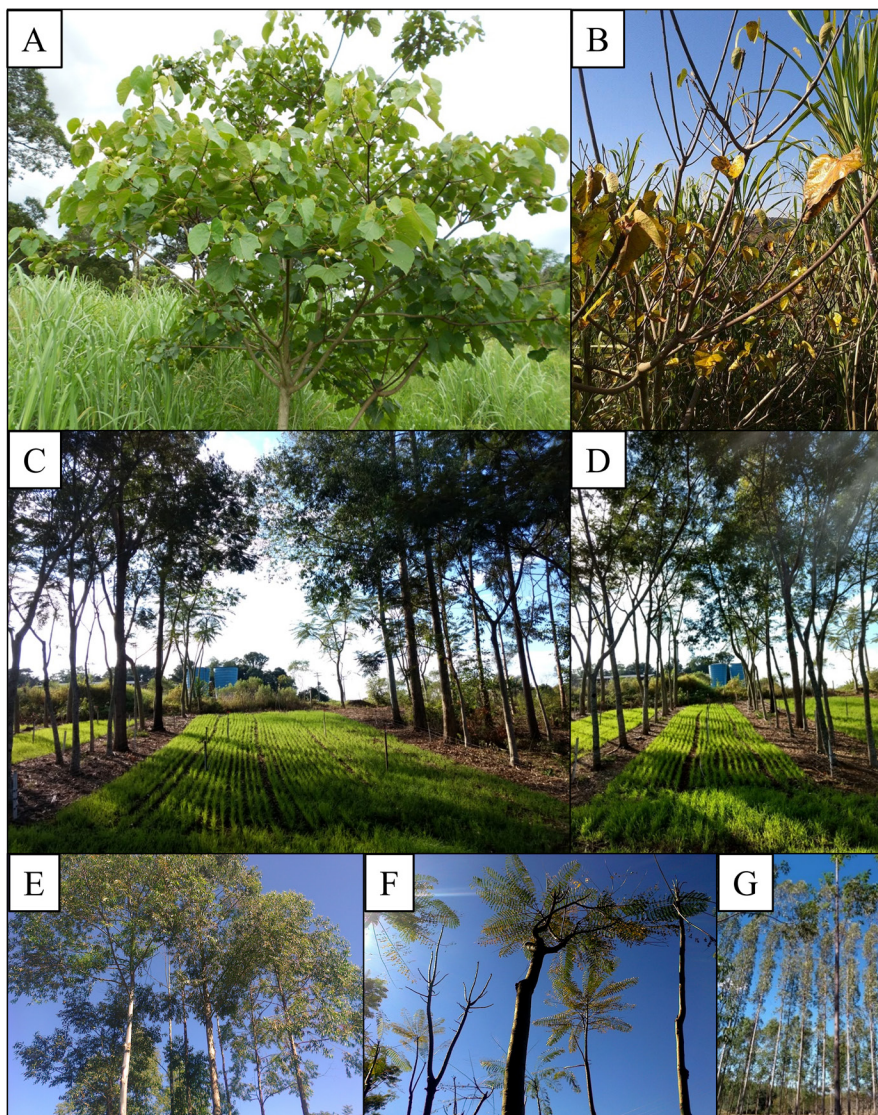


Figura 1 - Características e disposição das espécies cultivadas em sistemas agroflorestais. Copa da cultura do tungue no verão (A) e inverno (B) em sistema agroflorestal com cana-de-açúcar, demonstrando o hábito caducifólio da espécie. Figuras C e D representam os diferentes arranjos agroflorestais (um arranjo mais espaçado e outro mais denso, respectivamente) para o cultivo de aveia preta. Características da copa das espécies Eucalipto (E) e Guapuruvu (F). Por fim, a Figura G representa um clone de Eucalipto com características morfológicas de interesse para SAFs.

Fonte: Elvis Felipe Elli.

Desse modo, o fornecimento e a distribuição da radiação solar, ao longo do perfil agroflorestal, deve ser um dos primeiros aspectos a ser considerado no planejamento destes sistemas (RIGHI; BERNARDES, 2008), que junto ao conhecimento das necessidades ecofisiológicas das espécies presentes no sub-bosque, permitem a adoção de manejos adaptativos a fim de evitar perdas excessivas na produtividade.

No início do crescimento da espécie florestal temos uma menor interceptação de radiação solar pela copa das árvores, o que favorece o crescimento e a produção das culturas presentes no sub-bosque. No entanto, com o crescimento contínuo em altura, densidade da copa e área foliar da espécie florestal, a interação entre as plantas é aumentada e isso resulta em redução na quantidade de radiação que chega até o sub-bosque. Para tanto, no início do SAF, pode-se utilizar culturas que apresentem uma maior demanda de radiação solar, diferente do que acontece quando temos um maior sombreamento, o que acontece em um SAF já estabelecido. Neste caso, a escolha por espécies que sejam mais eficientes ou apresentem certas vantagens adaptativas em ambientes sombreados é preferível.

A interceptação de radiação solar pelos SAFs pode afetar a eficiência do uso de radiação e coeficiente de extinção de luz (CAMPBELL; NORMAN, 1998), que por sua vez, pode modificar a taxa de crescimento (PINTO et al., 2005), assimilação e partição de fotoassimilados produzidos pelas espécies crescidas no sub-bosque (MENDES et al., 2013). Alguns trabalhos demonstram que a eficiência do uso da radiação solar (EUR, g MJ⁻¹) é maior em plantas cultivadas no sub-bosque, comparado àquelas crescidas a pleno sol (CARON et al., 2014; NARDINI et al., 2019). Entretanto, na maioria das vezes, esse aumento da EUR não é capaz de compensar a redução expressiva da quantidade de radiação solar que chega ao interior do dossel. O entendimento desse balanço é um dos pontos primordiais para a manutenção da produtividade das culturas anuais em níveis satisfatórios, quando inseridas em SAFs.

A quantificação da radiação solar no sub-bosque dos SAFs é essencial e permite que o produtor possa otimizar planejamento e implantação do sistema visando melhor aproveitamento dessa variável meteorológica. Essa medida também auxilia na tomada de decisões importantes quanto às estratégias de manejo. A medida da radiação pode ser considerada de certa forma simples e de baixo custo. A mensuração deve ser realizada ao longo do tempo e espaço (por exemplo, mensurações em diferentes horários do dia e em diferentes pontos do sub-bosque), a fim de verificar a interceptação de radiação pelo componente arbóreo, e assim, observar a quantidade de radiação incidente no interior do sistema agroflorestal, ou seja, o quanto de radiação solar está chegando até as plantas do sub-bosque.

Sabendo da importância e dos benefícios proporcionados pelo uso de sistemas integrados de produção, os autores deste livro acreditam que as informações apresentadas ao longo dos capítulos podem auxiliar os produtores e extensionistas responsáveis pela aplicação do conhecimento a fim de maximizar a produção, promover o desenvolvimento econômico, social e contribuir para a intensificação sustentável dos sistemas agrícolas

brasileiros. Os SAFs são sistemas complexos e o conhecimento técnico-científico é o principal meio de superar os desafios impostos por estes sistemas. É importante destacar que grande parte das informações presentes neste livro são baseadas em artigos científicos oriundos de projetos de pesquisa dos próprios autores e de colegas que se dedicam para gerar conhecimento nesta área de estudo.

1.4 Referências bibliográficas

- ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 50-59, 2008.
- BAGLEY, W. T. Agroforestry and windbreaks. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 583-591, 1988.
- BINKLEY, D. *et al.* The interactions of climate, spacing and genetics on clonal Eucalyptus plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 405, p. 271-283, 2017.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C. Silvopastoral 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, 2020.
- BROOKER, R. W. *et al.* Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. **New Phytologist**, London, v. 206, p. 107-117, 2015.
- CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. The light environment of plant canopies. *In: An Introduction to Environmental Biophysics*. New York: Springer, p. 247-278, 1998.
- CARON, B. O. *et al.* Eficiência do 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.
- CARON, B. O. *et al.* Dynamics of solar radiation and soybean yield in agroforestry systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 4, p. 3799-3812, 2018.
- CARON, B. O. *et al.* Agroforestry systems and understory harvest management: the impact on growth and productivity of dual-purpose wheat. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 91, n. 4, 2019.
- CHANG, J. Climate and Agriculture. *In: MOLLISON, B. Permaculture a Designers' Manual*. Chicago: Aldine Pub. Co., 112 p., 1968.
- CONG, W. F. *et al.* Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. **Global Change Biology**, Nova Jersey, v. 21, p. 1715-1726, 2014.

- ELLI, E. F. *et al.* Productive, morphological and qualitative characteristics of sugarcane in the understory tree species in agroforestry systems. **African Journal of Agricultural Research**, [S. l.], v. 11, n. 17, p. 1576-1584, 2016.
- ELLI, E. F. *et al.* Ecofisiologia da cana-de-açúcar no sub-bosque de canafístula em arranjos de sistema agroflorestal. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 4, p. 464-472, 2016.
- ELOY, E. *et al.* Effect of planting age and spacing on energy properties of *Eucalyptus grandis* W. Hill EX Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 4, p. 749-758, 2016.
- ELOY, E. *et al.* Age and tree spacing and their effects on energy properties of *Ateleia glazioviana*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 9, 2017.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Agroforestry for landscape restoration: Exploring the potential of agroforestry to enhance the sustainability and resilience of degraded landscapes**. Rome, Italy, 22 p, 2017.
- GODFRAY, H. C. J. *et al.* Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, Nova Iorque, v. 327, p. 812-818, 2010.
- LI, Q. Z. *et al.* Over yielding and interspecific interactions mediated by nitrogen fertilization in strip intercropping of maize with faba bean, wheat and barley. **Plant and Soil**, [S. l.], v. 339, p. 147-161, 2011.
- LUEDELING, E. *et al.* Field-scale modeling of tree-crop interactions: Challenges and development needs. **Agricultural Systems**, [S. l.], v. 142, p. 51-69, 2016.
- LUNDGREN, B. O.; RAIN TREE, J. B. Sustained agroforestry. *In*: NESTEL, B. **Agricultural Research for Development: Potentials and Challenges in Asia**. The Hague, ISNAR, p. 37-49, 1982.
- MAKUMBA, W. *et al.* The long-term effects of a gliricidia-maize intercropping system in southern Malawi, on gliricidia and maize yields, and soil properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 116, p. 85-92, 2006.
- MENDES, M. M. S. Desenvolvimento do milho sob influência de árvores de pau branco em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 10, p. 1342-1350, 2013.
- MULLER, M. D. *et al.* Desenvolvimento vegetativo de pinhão manso em diferentes arranjos de plantio em sistemas agrossilvipastoris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 7, p. 506-514, 2014.
- NAIR, P. K. R. **An introduction to Agroforestry**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 499 p., 1993.

- NAIR, P. K. R. Tropical agroforestry systems and practices. *In*: FURTADO, J. I.; RUDDLE, K. **Tropical resource ecology and development**. John Willey Ed Chichester - Inglaterra: ICRAF, 39 p., 1984.
- NARDINI, C. *et al.* Growth and solar radiation use efficiency of corn cultivated in agroforestry systems. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, [S. l.], v. 31, n. 7, p. 535-543, 2019.
- NGUYEN, Q. *et al.* Multipurpose agroforestry as a climate change resiliency option for farmers: an example of local adaptation in Vietnam. **Climatic Change**, [S. l.], v. 117, p. 241-257, 2013.
- PAULA, P. D. D. *et al.* Decomposição das podas das leguminosas arbóreas *Gliricidia sepium* e *Acacia angustissima* em um sistema agroflorestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 791-800, 2015.
- PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 1, p. 110-119, 2015.
- PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. **Journal of Thermal Biology**, [S. l.], v. 79, p. 103-111, 2019.
- PINTO, L. F. G. *et al.* Growth, yield and system performance simulation of a sugarcane-eucalyptus interface in a subtropical region of Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 105, n. 1, p. 77-86, 2005.
- RIGHI, C. A. Sistemas Agroflorestais: definição e perspectivas. *In*: **Cadernos da Disciplina de Sistemas Agroflorestais**, Piracicaba, São Paulo, v. 2, p. 1-208, 2015.
- RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. Sistemas Agroflorestais. *In*: **Cadernos da Disciplina de Sistemas Agroflorestais**, Piracicaba, São Paulo, v. 1, p. 1-5, 2018.
- RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. Disponibilidade de energia radiante em um sistema agroflorestal com seringueiras (*hevea* spp.): produtividade do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 533-540, 2008.
- SALTON, J. C. *et al.* Integrated crop livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 190, p. 70-79, 2013.
- SCHWERZ, F. *et al.* Yield and qualitative traits of sugarcane cultivated in agroforestry systems: Toward sustainable production systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**, [S. l.], v. 34, n. 4, p. 280-292, 2019.
- SCHWERZ, F. *et al.* Plant growth, radiation use efficiency and yield of sugarcane cultivated in agroforestry systems: An alternative for threatened ecosystems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 4, p. 3265-3283, 2018.

- SEPÚLVEDA, B. R.; CARRILLO, A. A. Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga* spp and *Musa* spp) in Northern Nicaragua. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 210, p. 25-35, 2015.
- TAVARES, M. F. Sistema agroflorestal como alternativa de produção para agricultura familiar. *In: Cadernos da Disciplina de Sistemas Agroflorestais*, Piracicaba, São Paulo, v. 2, p. 95-108, 2018.
- TRACY, B. F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response, and soil nutrient pool dynamics within an integrated crop-livestock system in Illinois. **Crop Science**, [S. l.], v. 48, p. 1211-1218, 2008.
- VANDERMEER, J. H. **The Ecology of Agroecosystems**. Boston, MA, USA: Jones and Bartlett Publishers, 387 p., 2011.
- VIVAN, J. L.; FLORIANI, G. S. Construção participativa de indicadores de sustentabilidade em sistemas agroflorestais em rede na Mata Atlântica. *In:*
- VILCAHUAMÁN, L. J. M. et al. **Sistemas Agroflorestais e desenvolvimento com proteção ambiental: práticas e tecnologias desenvolvidas**. Colombo: Embrapa Florestas, p. 9-34, 2006.
- ZHANG L. *et al.* Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. **Field Crops Research**, [S. l.], v. 103, p. 178-188, 2007.

Capítulo 2

Resultados e experiências alcançadas de um experimento de sistema agroflorestal no Rio Grande Sul

Braulio Otomar Caron
Denise Schmidt

A busca por alternativas para a agricultura familiar motivou um grupo de Jovens professores e estudantes do curso de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, *Campus Frederico Westphalen*, que, no ano de 2007, almejavam conduzir experimentos para estudar sistemas agroflorestais. O desafio marcante era desenvolver técnicas de manejo compatíveis com as práticas culturais dos produtores considerando suas necessidades. Após uma década do sucesso da condução experimental, neste capítulo estão apresentados alguns resultados, desafios e experiências alcançadas por meio do sistema agroflorestal.

2.1 Resultados e desafios de um experimento de sistema agroflorestal

A região do Médio Alto Uruguai, no noroeste do estado do Rio Grande do Sul, é caracterizada pelo predomínio de pequenas e médias propriedades rurais¹. Os produtores necessitam de fluxo financeiro em curto prazo, daí o maior interesse, e necessidade pela produção de culturas de ciclo curto e atividades relacionadas à pecuária. Aspectos culturais dos produtores também são determinantes para isso.

A madeira é uma matéria-prima importante nas propriedades, pois é utilizada para a produção de energia, escoras, tábuas, palanques de cerca e outros fins diversificados. Como a produção dessa matéria-prima pode ser viabilizada nas propriedades rurais por meio de cultivos florestais? Essa é uma questão-chave e oportuniza o desenvolvimento de projetos de sistemas agroflorestais na região.

Quais seriam os motivos para produzir madeira em sistemas de consórcio? O primeiro deles, sem dúvidas, cultivar árvores e manter o fluxo de renda por meio das culturas anuais (ciclo curto). Ademais, em sistemas agroflorestais, outras questões positivas estão relacionadas: i) à qualidade do ambiente, ii) aos aspectos da paisagem, iii) às associações simbióticas, iv) aos múltiplos produtos, v) às alternativas de renda e vi) à sustentabilidade no ambiente de produção.

A região noroeste do estado do Rio Grande Sul possui áreas excelentes para a produção de alimentos, sendo um espaço nobre para os agricultores. Isso oportunizou a discussão de outra questão importante: definir quais seriam as áreas nas propriedades rurais destinadas aos sistemas agroflorestais. No entendimento de perspectivas de risco de produção, as melhores áreas para cultivo na propriedade deveriam ser mantidas para o desenvolvimento das atividades tradicionais pelo produtor, então, uma área menos produtiva seria potencial para a instalação de um sistema agroflorestal. Este foi o caso da área cedida para instalação do experimento, dada pela parceria do Laboratório de Agrometeorologia da Universidade Federal de Santa Maria - UFSM-FW com a Cooperativa Mista de Produção, Industrialização e Comercialização de Biocombustíveis do Brasil - COOPERBIO. Obviamente, em outras oportunidades, áreas de alto potencial de produção também podem ser destinadas para sistemas agroflorestais.

¹ Informações detalhadas sobre o tamanho médio das propriedades rurais estão disponibilizadas nos documentos produzidos pelo Censo Agropecuário do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Uma visão da área experimental e das condições do solo pode ser encontrada na Figura 2. A área era destinada para produção de grãos e para pastagens. Avaliando as condições do solo, quais são as produtividades esperadas? Seria interessante o desenvolvimento de um sistema agroflorestal?

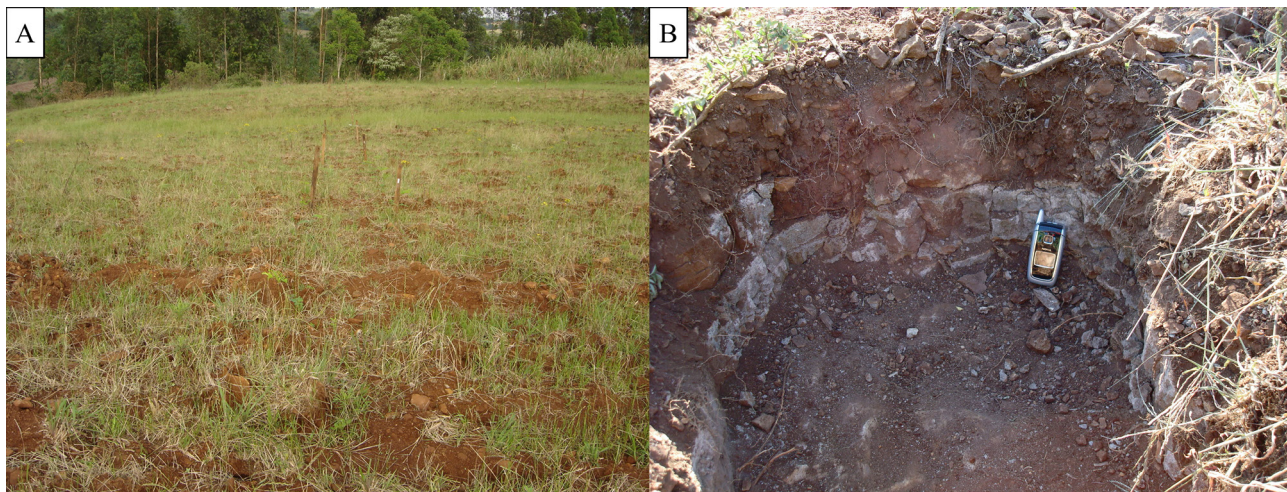


Figura 2 - Vista geral (A) e condições do solo (B) da área experimental no município de Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul.

Fonte: Braulio Otomar Caron.

Qual deveria ser a estrutura do sistema agroflorestal? Outra questão complexa, a qual foi resumida de modo a considerar apenas a densidade de plantas e originou a denominação dos tratamentos nos sistemas agroflorestais: Faixa e Linha. No sistema faixa as espécies florestais foram distribuídas em faixas separadas por 12m. Cada faixa é composta por três linhas de árvores espaçadas em 3x3m. A cultura consorciada está distribuída em seis linhas (entre as faixas - no espaço de 12m) e duas linhas na faixa (entre as linhas de árvores). Para o sistema linha as espécies florestais foram distribuídas em 6x1,5m, ou seja, 6m entre linha e 1,5m entre planta na linha. A cultura consorciada foi distribuída em três linhas, no espaço entre as linhas das árvores.

Quais seriam as espécies florestais e culturas de ciclo curto a serem cultivadas? Uma ampla revisão da literatura foi realizada com base no material de dissertações, teses e livros disponíveis na biblioteca de Ciências Agrárias da UFSM, em Santa Maria. Entre as discussões acerca da indagação, o potencial de crescimento, produtos a serem obtidos (lenha, madeira para serraria, escoras, etc.), facilidade para produção de mudas, potencial de fixação de nitrogênio e/ou fósforo, estrutura da copa, espécies perenes e caducifólias, espécies nativas e exóticas foram os pontos decisivos durante o planejamento do experimento. Para as culturas anuais apenas o aspecto de culturas tradicionalmente cultivadas na região foi considerado.

As espécies florestais nativas selecionadas foram: Bracatinga (*Mimosa scabrella*), Guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), Angico-vermelho (*Parapiptadenira rigida*) e

Canafístula (*Peltophorum dubium*). A espécie exótica selecionada foi o Eucalipto (*Eucalyptus urograndis*). As culturais anuais selecionadas, para uma sequência de cultivo ao longo dos anos, foram: cana-de-açúcar, soja e milho e, por fim, pastagens. A produção das mudas das espécies florestais foi iniciada em abril de 2007 (Figura 3).

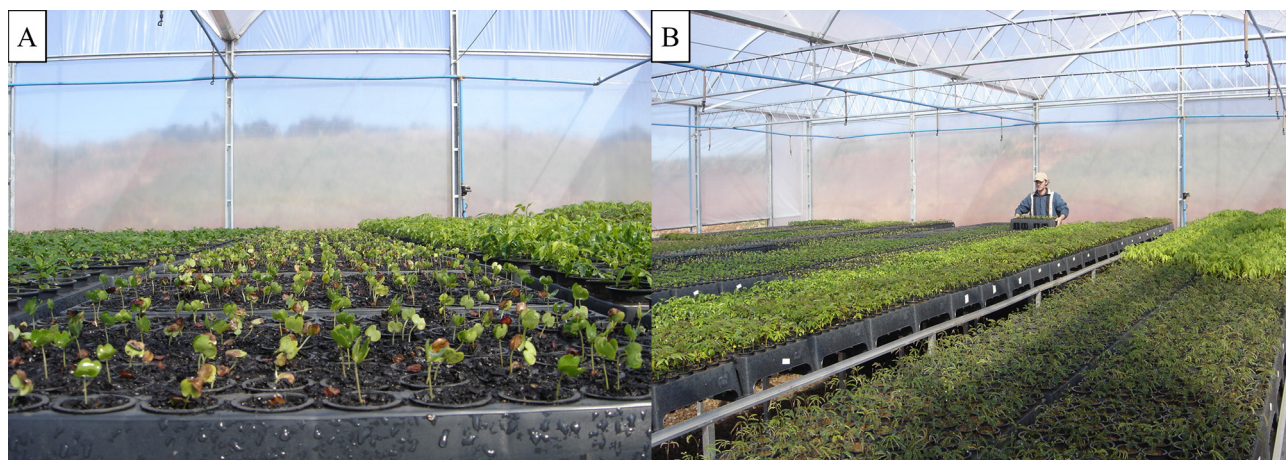


Figura 3 - Produção de mudas das espécies florestais Bracatinga, Guapuruvu, Angico-vermelho, Canafístula e Eucalipto a serem cultivadas nos sistemas agroflorestais no município de Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul.

Fonte: Bráulio Otomar Caron.

Em outubro de 2007, o experimento foi instalado, as mudas das espécies florestais e a cana-de-açúcar foram plantadas. Na Figura 4 está representada uma sequência de imagens em relação à época de plantio, as espécies no sistema, e um comparativo da área antes e depois dos sistemas agroflorestais instalados (Figura 4G e H).

Atividades de manutenção foram realizadas, conforme a necessidade, com mais frequência durante os primeiros 24 meses após a instalação dos sistemas (Figura 5). Estas atividades envolveram roçadas (usando uma roçadeira costal), coroamento (para as espécies florestais) e capina (com enxada e também arado com tração animal).

Seis meses após o plantio, a percepção era que os sistemas agroflorestais estavam formados (Figura 6).

Logo no início do experimento foram observadas ocorrências de geadas. Seus efeitos podem ser evidenciados na Figura 7, revelando também respostas distintas das espécies em relação aos danos sofridos. Ressalta-se que em todos os anos, durante a condução do experimento, foram constatadas ocorrências de geadas, aliás, o efeito delas é perceptível nos dados de crescimento das espécies florestais.

O crescimento das espécies florestais foi monitorado por meio da mensuração da altura (h) e diâmetro à altura 1,3 m do solo (d), em cada estação do ano desde a instalação do experimento. Além disso, ao longo do monitoramento, foram realizadas avaliações de campo para determinar a biomassa florestal, e outras variáveis para avaliar o crescimento e a produtividade das espécies (Figura 8).

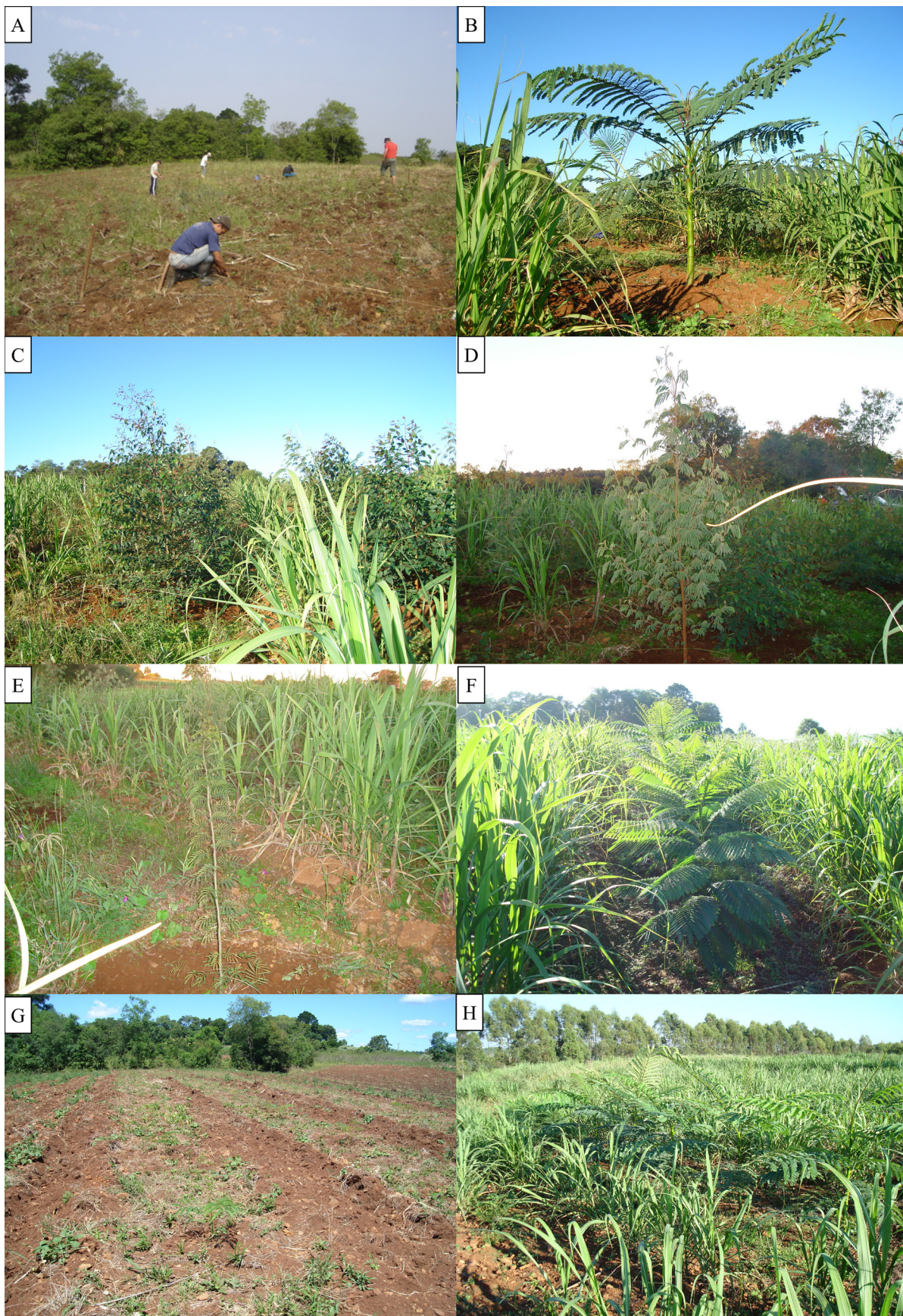


Figura 4 - Estabelecimento do sistema agroflorestal: espécies florestais e cana-de-açúcar no município de Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul.

Fonte: Braulio Otomar Caron.

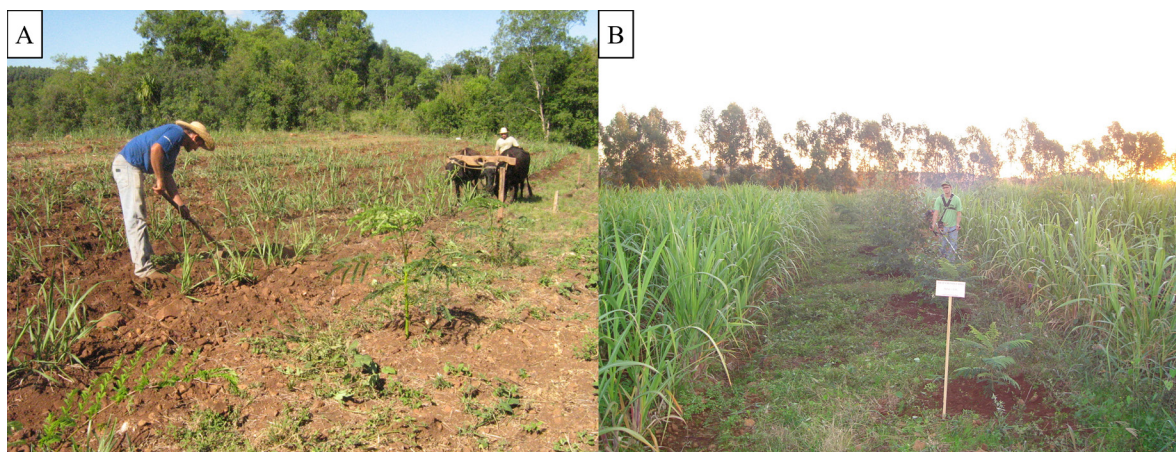


Figura 5 - Atividades de manutenção dos sistemas agroflorestais no município de Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul.

Fonte: Bráulio Otomar Caron.

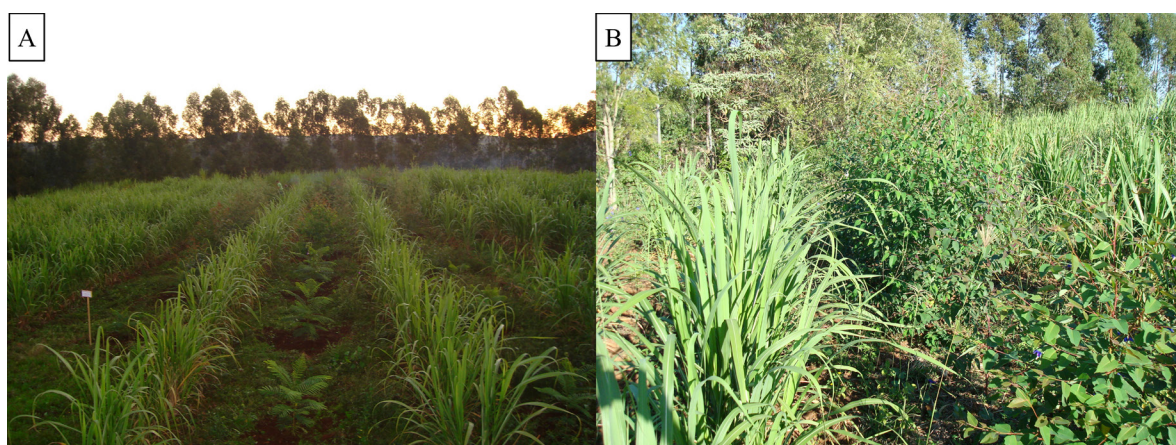


Figura 6 - Sistema agroflorestal faixa e linha, seis meses após o plantio das espécies no município de Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul.

Fonte: Bráulio Otomar Caron.

A partir das avaliações realizadas foi possível caracterizar e avaliar a resposta de cada espécie florestal estudada. Os dados de crescimento estão representados na Figura 9.

Na Figura 10 estão representados os dados de volume ($m^3 ha^{-1}$) e área basal ($m^2 ha^{-1}$) das espécies florestais estudadas nos dois sistemas de produção avaliados (Faixa e Linha). Os maiores valores de volume do fuste ($m^3 ha^{-1}$) e área basal ($m^2 ha^{-1}$) no experimento ocorreram na espécie Eucalipto.

2.2 Experiências alcançadas por meio do sistema agroflorestal

Desenvolver um sistema agroflorestal potencial, produtivo, compatível com a realidade rural local, e, complementada com a perspectiva desejável de uma atividade sustentável do uso da terra, foi um desafio muito grande, o qual demandou muito esforço e dedicação para execução do projeto.

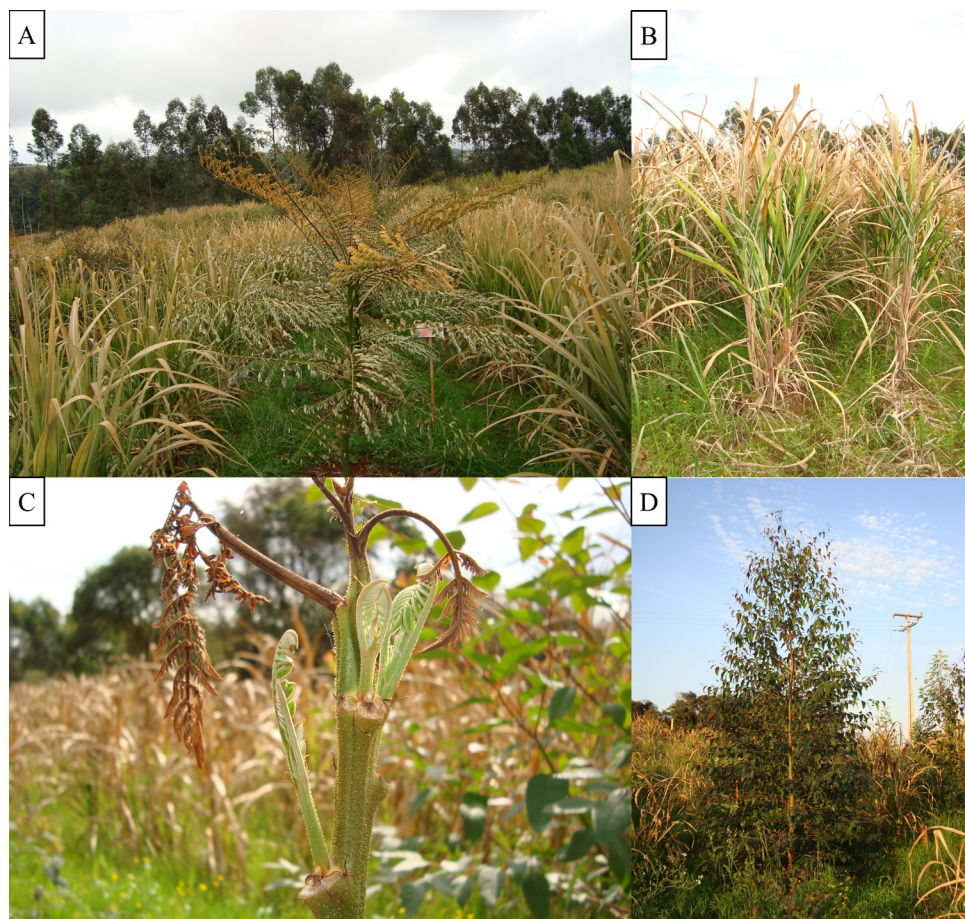


Figura 7 - Efeito da geada nas espécies florestais e na cana-de-açúcar 9 meses após o plantio no município de Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul.

Fonte: Bráulio Otomar Caron.

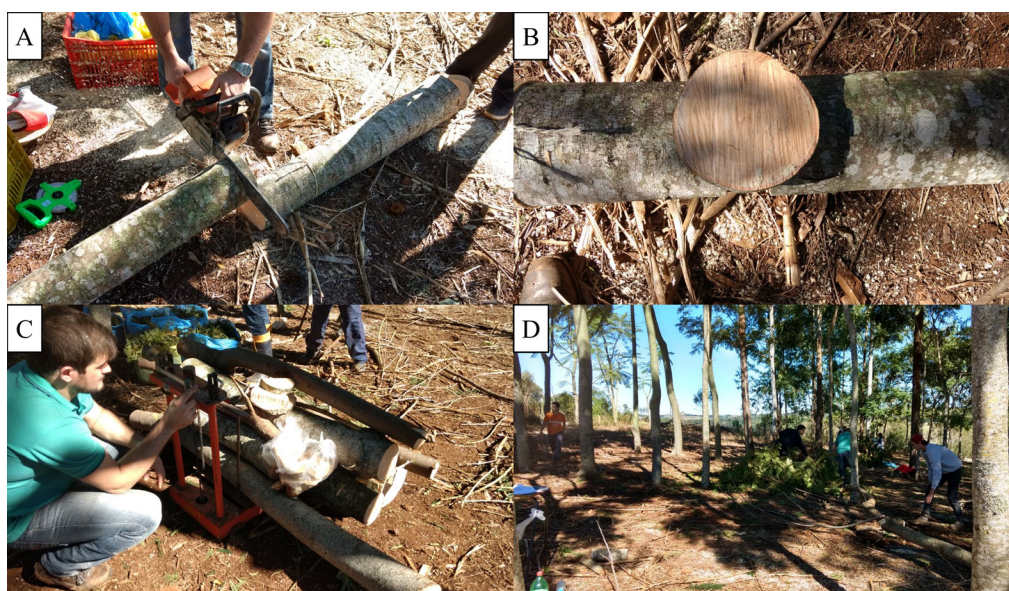


Figura 8 - Avaliações destrutivas das espécies florestais nativas (Angico, Bracatinga, Canafístula e Guapuruvu) e exótica (Eucalipto) em sistemas agroflorestais no município de Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul.

Fonte: Claiton Nardini.

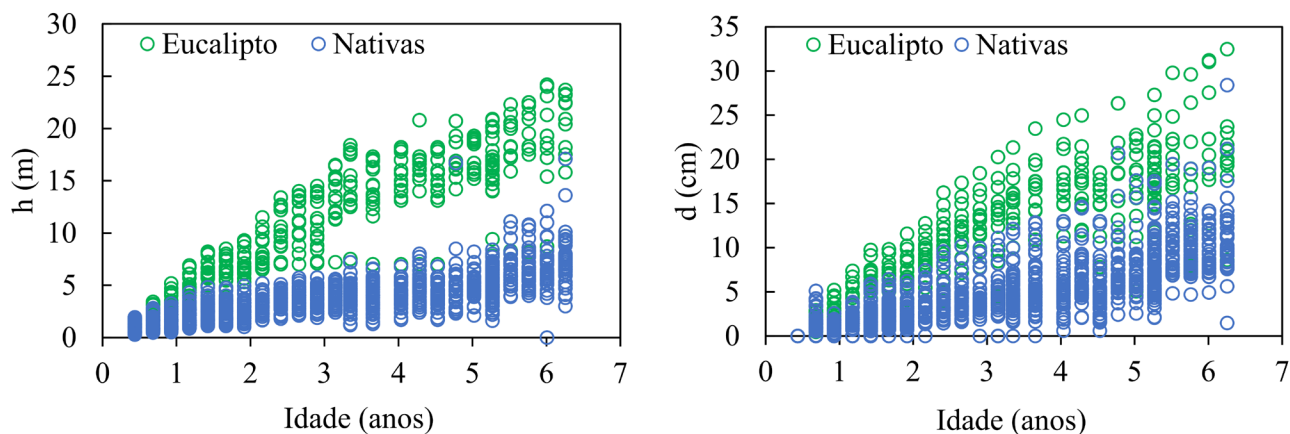


Figura 9 - Crescimento das espécies florestais nativas (Angico, Bracatinga, Canafístula e Guapuruvu) e exótica (Eucalipto) em sistemas agroflorestais no município de Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul.

Fonte: Claiton Nardini.

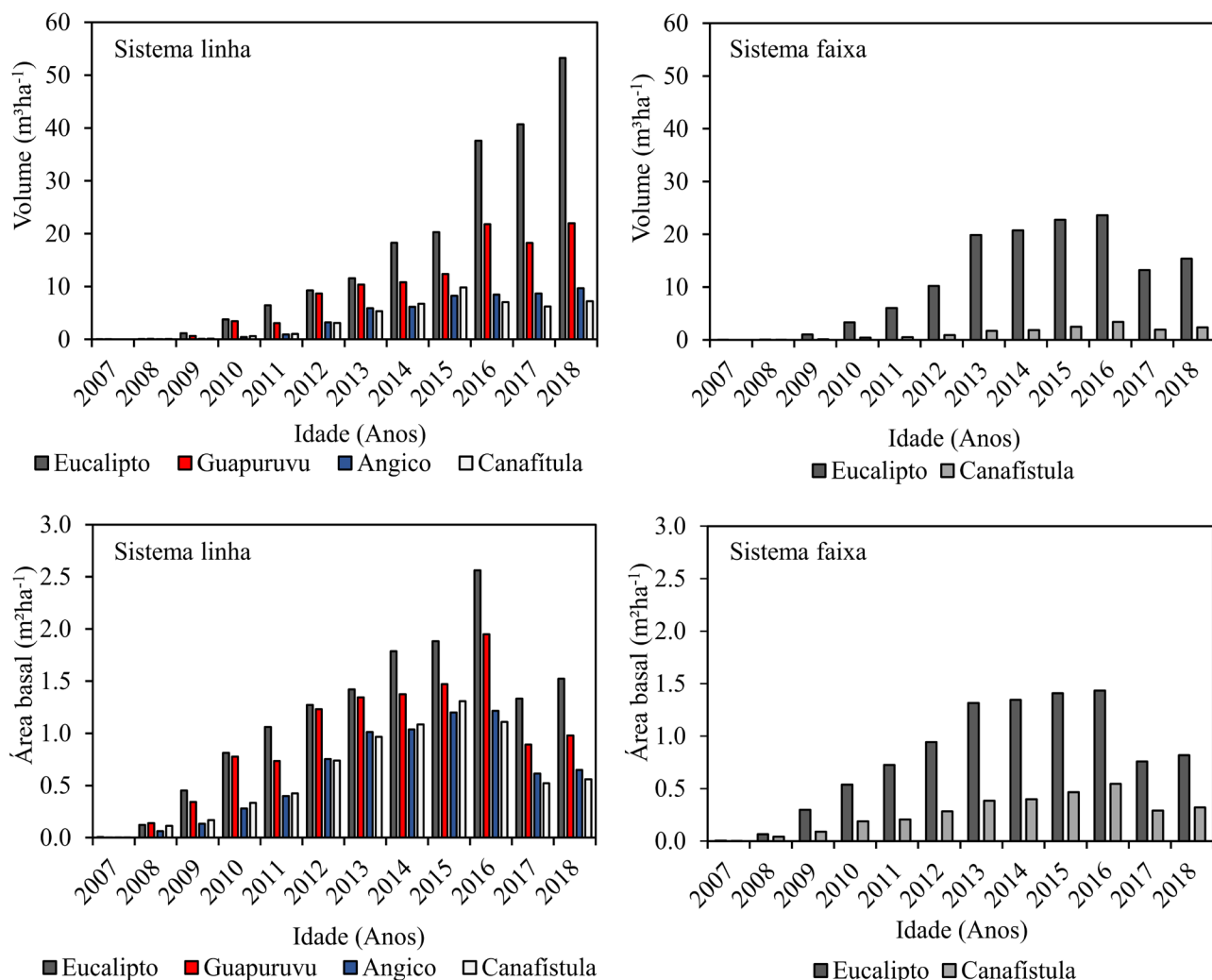


Figura 10 - Volume e área basal das espécies florestais nativas (Angico, Bracatinga, Canafístula e Guapuruvu) e exótica (Eucalipto), cultivadas em dois sistemas de produção (Faixa: 12x12m) e (Linha: 6x6m).

Fonte: Claiton Nardini.

Durante a jornada de pesquisa, de mais de uma década, vários trabalhos foram produzidos. Uma síntese dos resultados está apresentada nos demais capítulos, detalhes podem ser encontrados nos artigos e teses que foram elaborados pelos pesquisadores. Alguns aspectos observados no experimento estão apresentados na sequência.

A produtividade alcançada no sistema agroflorestal, considerando as condições do local, foi satisfatória. Pode ser que a produtividade para as espécies consorciadas e florestais teriam sido maiores se cultivadas em sistemas tradicionais, especialmente em melhores condições de solo.

O manejo dos sistemas agroflorestais é complexo quando comparado com o monocultivo (sistemas tradicionais), porque exige mais dos produtores envolvidos. A maior habilidade técnica requerida deve-se às diferentes áreas do conhecimento envolvidas para cultivar espécies perenes e anuais.

Se é mais complexo, quais seriam os motivos para insistir com novos sistemas de manejo? A percepção é de que o sistema agroflorestal permitiu alcançar um melhor uso da terra. Não se pretendeu transmitir a ideia de que os sistemas de consórcio devam prevalecer entre as formas de produção, mas na medida do possível, que eles possam ser considerados como alternativa viável nas propriedades rurais.

No início da condução do experimento, a principal preocupação era descobrir qual dos sistemas agroflorestais seria mais atrativo (nas mentes, ainda, somente o aspecto econômico era prevalente), ou seja, definir a melhor combinação: espécie florestal, cultura consorciada e sistema de produção (faixa ou linha). No decorrer do experimento, isto deixou de ser a questão principal, o sistema agroflorestal revelava outros aspectos que sobressaíam, evidenciando, assim, que os sistemas agroflorestais propostos eram viáveis, mas dependentes de alguns ajustes.

Logicamente, a questão econômica é importante e não deve ser esquecida. As árvores no sistema, a partir do crescimento radicular e, também, com a deposição de serapilheira, revelou melhores condições para o solo. A rotação das culturas anuais também contribuiu para o aumento de material orgânico no solo. A composição das espécies aumentou a diversidade no local, inclusive no que se refere a insetos.

Embora nos primeiros anos de cultivo o retorno econômico não tenha sido maximizado se comparado a um monocultivo, estava-se melhorando as condições do ambiente de cultivo. Destaca-se o baixo uso de fertilizantes e, também, de outros químicos, os quais foram utilizados somente na implantação do experimento.

Dias de campo promovidos pelo Laboratório de Agrometeorologia e pela COOPERBIO foram importantes para os agricultores vivenciarem os sistemas de cultivos. Além deste público, estudantes e professores de várias universidades e gestores de empresas puderam compartilhar as experiências do experimento. Logo, pilares da sustentabilidade emergiam no sistema agroflorestal: ambiente, econômico e social.

Em termos de produção das espécies florestais, o crescimento do eucalipto foi expressivamente maior quando comparado com as espécies nativas, com maiores

produtividades no sistema linha. Este importante resultado levaria a desconsiderar os demais tratamentos testados. Já para as culturas consorciadas, as maiores produtividades eram observadas nos tratamentos com as espécies florestais nativas e no sistema faixa. A relação produção da espécie florestal e cultura consorciada é tratada nos outros capítulos.

Embora o crescimento da espécie eucalipto seja superior aos das demais (o que a torna diferenciável), foi evidenciado que é possível viabilizar o cultivo de espécies nativas (isso é fantástico), mesmo que as taxas de crescimento sejam menores. Percebe-se que não havia motivos para comparar a produtividade das espécies, mas sim conhecer suas taxas de crescimento para poder manejá-las apropriadamente. Involuntariamente, foi um acerto considerar espécies com características distintas, pois, assim, a biodiversidade no sistema agroflorestal aumentou, conseqüentemente os produtos madeiráveis obtidos em diferentes épocas, além da produção das culturas consorciadas.

Quais são as espécies florestais que devem ser consideradas nos sistemas agroflorestais? As que são adaptadas às condições do ambiente (especialmente resistente às geadas) e que são de interesse do produtor. Por que é importante conhecer as taxas de crescimento das árvores? Porque existe uma dependência da produtividade da cultura a ser consorciada, conforme será evidenciado nos demais capítulos. As espécies florestais são determinantes para as culturas a serem consorciadas. Qual é o sistema (faixa ou linha) a ser escolhido? Os dois são proporcionalmente interessantes, no sistema linha é priorizado o componente arbóreo e no sistema faixa a cultura consorciada.

Existe uma influência do arranjo das espécies florestais sobre a cultura consorciada, conforme demonstrado nos demais capítulos. Daí a importância em se conhecer as taxas de crescimento (de todas as culturas) nos diferentes sistemas de arranjo de plantas (faixa ou linha) para manejar e manter o sistema agroflorestal produtivo e com potencialidade de ser aceito por agricultores. Conhecer a relação taxa de crescimento e arranjo de plantas em consórcios é mais complexo quando comparado ao monocultivo, daí a necessidade de instalar experimentos regionais e propiciar dias de campo.

A falta de tradição em sistemas agroflorestais na região, fortalecida por um sistema de manejo com maior planejamento, gera desconfiança em adotá-lo. Aqui reside um aspecto interessante para desenvolver sistemas agroflorestais experimentalmente: oportunidade para produtores vivenciarem e discutirem possibilidades. Daí o sistema ter se tornado atraente e potencial. Esta é uma das razões que ensejaram a realização de “dias de campo” no experimento, com interações da comunidade acadêmica e produtores.

Os Engenheiros Florestais (em especial) conhecem o potencial madeireiro das espécies nativas, mas também reconhecem as dificuldades para cultivá-las. É necessário (e encantador) desenvolver sistemas de produção em que as espécies nativas sejam incluídas, de modo a viabilizar a condução de pesquisas técnicas silviculturais eficazes, programa de melhoramento genético (com diversos fins). Destacam-se os investimentos em laboratórios da universidade para viabilizar as iniciativas, valorizando a silvicultura de espécies nativas.

O cultivo de espécie nativa em sistemas agroflorestais é uma abordagem silvicultural muito atrativa. Independente das taxas de crescimento, cultivar espécies nativas é almejado por muitos produtores.

Entende-se que para a formação de um sistema agroflorestal potencial e produtivo, é necessário torná-lo compatível com a realidade rural, junto à perspectiva desejável de uma atividade sustentável do uso da terra. Talvez, o que torna o sistema agroflorestal especial são as árvores. As árvores são motivadoras para estudar os fenômenos físicos e químicos no ambiente, são as que promovem a maior dinâmica no sistema e determinam os efeitos sobre as culturas consorciadas. Simultaneamente, as culturas anuais asseguram a sustentabilidade de retorno econômico.

Nossa opinião é que as árvores são o componente especial do sistema, graças ao suporte das culturas consorciadas. A harmonização desses componentes e suas interações são apresentadas nos capítulos subsequentes. Resultados para o desenvolvimento regional foram obtidos por meio do experimento. Ainda que isso seja um aspecto preferencial em pesquisas, os sistemas agroflorestais contribuíram primordialmente para a formação profissional de várias pessoas. Essa combinação de resultados revela também os desafios existentes para a condução e o desenvolvimento de projetos dentro dessa linha de pesquisa.

Capítulo 3

Arranjo de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais: interações intra e interespecíficas

Elder Eloy
Elvis Felipe Elli

3.1 Arranjo do plantio florestal

Um dos principais fatores que afetam a formação das florestas é o arranjo de plantio das árvores, pois apresentam implicações do ponto de vista silvicultural, tecnológico, econômico e ecofisiológico, interferindo nas taxas de crescimento das plantas, idade de corte, qualidade da madeira, bem como nas práticas silviculturais empregadas e, conseqüentemente, nos custos de produção (ELOY et al., 2013). No contexto de Sistemas Agroflorestais (SAFs), o arranjo de plantio definirá o nível de competição entre as diferentes espécies do sistema. A densidade de plantas pode influenciar no crescimento e nas características morfológicas das espécies florestais, independente das características genéticas da espécie utilizada.

A escolha adequada do espaçamento entre as plantas para determinada espécie, fundamenta-se no uso final da madeira e é de grande relevância por condicionar a quantidade de recursos naturais disponíveis ao crescimento de cada árvore. Considerando-se a diversidade de variação das espécies florestais e as diferentes qualidades de madeiras exigidas para cada uso, sabe-se que o espaçamento ideal para determinado fim não é o mesmo indicado para outro, como por exemplo, para produção de madeira beneficiada na serraria (espaçamentos mais amplos), para fins energéticos, para a produção de polpa e papel (espaçamentos mais adensados), entre outros.

Atualmente, algumas das principais empresas florestais do Brasil, utilizam um espaçamento entre as linhas de plantio que possibilite a mecanização das atividades de implantação, manutenção e exploração dos maciços florestais. Deve-se ter em mente que isso pode afetar o crescimento e a produtividade das florestas plantadas, principalmente para as espécies de rápido crescimento. Neste sentido, o arranjo entre as plantas, quando utilizado de forma inadequada, pode acentuar os efeitos da deficiência hídrica sobre as plantas, especialmente em regiões tropicais (GONÇALVES et al., 2017), tal fato pode reduzir a produtividade do povoamento em virtude da intensa competição intraespecífica. Além da disponibilidade hídrica, a competição por outros recursos como nutrientes do solo e radiação solar também pode ser acentuada (LELES et al., 2001).

A tomada de decisão na escolha do espaçamento adequado tem como objetivo proporcionar a cada indivíduo o espaço suficiente para se obter o crescimento máximo, com a melhor qualidade e menor custo, sem, entretanto, desconsiderar a questão de proteção do solo e sustentabilidade do sistema como um todo. O espaçamento ideal irá depender, além dos fatores anteriormente mencionados, das condições ambientais do sítio, da espécie e do potencial do material genético utilizado. Alguns pesquisadores relatam na literatura que a adoção de espaçamentos reduzidos acarreta a produção de toras de pequeno diâmetro e muitas árvores dominadas, o que compromete o volume final (LEITE et al., 1997).

O espaçamento de plantio e a idade de corte das árvores apresentam uma relação direta, uma vez que, plantios com maior densidade de plantas, exigem desbastes ou ciclos mais curtos de cortes, pois a competição é mais intensa e ocorre precocemente, tal fato

resulta na antecipação da estagnação do crescimento do povoamento. Neste contexto, é possível destacar que, com o tempo, a quantidade de madeira estocada em um determinado sítio tende a se igualar em diferentes espaçamentos, isso em razão de que nos plantios mais densos ocorre a estagnação do crescimento precocemente, já nos plantios com espaçamentos mais amplos a estagnação ocorre em idades mais avançadas.

Dessa forma, os diferentes arranjos de plantio dos povoamentos florestais não são necessariamente os mesmos para diferentes espécie ou locais e devem ser estudados em cada situação, baseados em informações precisas sobre o destino do produto final, tipo de solo, clima e sua variabilidade, hábito de crescimento da espécie, sobrevivência esperada, tratamentos culturais e tipos de equipamentos a serem utilizados nos cortes e remoção da madeira.

3.2 Interações intra e interespecíficas

A interação é um tipo de relação ecológica presente na natureza que pode ser interespecífica (entre espécies diferentes) ou intraespecífica (entre indivíduos da mesma espécie). Essas formas de competição ocorrem quando indivíduos buscam um mesmo recurso e, principalmente, quando esse recurso é limitado no tempo e/ou no espaço (RAVEN et al., 2007). Dentre os principais recursos ambientais que podem ser reduzidos com o aumento em número de indivíduos de uma mesma espécie ou de espécies diferentes são água no solo, nutrientes (GUSTAFSON et al., 2004) e radiação solar (JOSE et al., 2004). De acordo com as variações existentes no ambiente, as plantas podem se comportar de forma diferenciada, no entanto, elas precisam utilizar mecanismos de percepção das condições de competição e alguns desses mecanismos podem estar diretamente relacionados à parte aérea e às raízes (PARK et al., 2001), afetando os padrões de partição de fotoassimilados, a taxa de crescimento (AERTS, 1999) e, conseqüentemente, a produtividade.

Um dos principais fatores que gera a competição entre as plantas é a disponibilidade de nutrientes no solo (LEMAIRE, 2001), dessa forma, a dinâmica de crescimento e a zona de exploração do sistema radicular são de grande importância para se compreender o processo de competição na região subterrânea. A utilização de SAFs pode trazer alguns benefícios nesse contexto, já que o sistema radicular do componente arbóreo é mais profundo, possibilitando o acesso à água e aos nutrientes que não podem ser explorados pela grande maioria das culturas anuais cultivadas no sub-bosque (MORRIS; MYERSCOUGH, 1991). Em uma situação de estresse hídrico, essa estratégia pode ser uma vantagem, pois proporciona maior otimização do uso da água presente no sistema.

A raiz pode interagir com fatores condicionantes do ambiente a partir da fixação de seu sistema radicular no solo (MAINA et al., 2002). Alguns pesquisadores relatam na literatura que as raízes são capazes de distinguir-se entre raízes da mesma espécie e aquelas de outras espécies, mesmo sem contato físico entre elas. A habilidade de ocupação do sistema radicular em um processo de competição está relacionada à biomassa subterrânea,

densidade dos pelos radiculares e a taxa de crescimento do indivíduo (CASPER; JACKSON, 1997). Quando se observa a presença de duas ou mais espécies vegetais, essas habilidades variam, sendo que cada uma das espécies poderá disputar por um mesmo recurso, ou serem seletivas quanto a qual recurso disputar no solo (GRIEU et al., 2001).

Em relação à parte aérea do componente arbóreo, uma das principais variáveis meteorológicas que é modificada por esse fator é a radiação solar. A quantidade de radiação interceptada pela copa das árvores é uma função do arranjo das árvores, arquitetura de copa, índice de área foliar (IAF), orientação de plantio, época do ano e horário do dia, sendo o seu conhecimento de fundamental importância para que o cultivo agrícola seja estabelecido no sub-bosque do sistema. As espécies presentes nos SAFs competem diretamente por radiação solar, especialmente a fração de radiação fotossinteticamente ativa - RFA (na faixa do espectro de 400-700nm), a qual é utilizada pelas plantas durante o processo fotossintético (GENDRON et al., 1998).

No entanto, as espécies agrícolas que apresentam melhor adaptação aos SAFs apresentam níveis satisfatórios de crescimento mesmo quando submetidas às menores quantidades de radiação solar, como por exemplo, em sistemas em que o componente arbóreo intercepta de 40% a 60% da radiação solar. Dessa forma, o manejo da luminosidade ao longo do espaço e tempo por meio de estratégias silviculturais, como espaçamento de plantio, poda, desbaste e escolha de espécies florestais adequadas, é um fator crucial para a obtenção de sucesso nos SAFs.

3.3 Interações entre espécies florestais e agrícolas em SAFs

O cultivo consorciado de diferentes espécies em sistemas agroflorestais, se adequadamente planejado e manejado, pode trazer inúmeros benefícios ao sistema como um todo, por exemplo: (1) o uso de espécies florestais leguminosas pode trazer efeitos benéficos para a fertilidade do solo graças à fixação biológica, por aumentar os teores de matéria orgânica do solo e tornar a ciclagem de nutrientes mais eficiente; (2) o uso de diferentes espécies, de forma combinada, tem gerado incrementos na produção de biomassa devido ao aumento da eficiência do uso de água, radiação e nutrientes; (3) o uso de árvores no sistema influencia de forma significativa na barreira contra ventos fortes e erosão do solo e (4) os SAFs têm sido elencados com potenciais estratégias para mitigação dos impactos negativos das mudanças climáticas, devido ao maior sequestro de CO₂ comparado a sistemas de monocultivo e redução das temperaturas médias em seus sub-bosques (CONG et al., 2014; BOSI et al., 2020). Com isso, podemos inferir que, os SAFs podem proporcionar diversos serviços ecossistêmicos (FAO, 2017) visando ao aumento da sustentabilidade agrícola e florestal.

Analisando a interação com plantas agrícolas, os espaçamentos tradicionalmente utilizados para espécies florestais em sistemas de monocultivo impossibilitam o consórcio a partir do segundo e terceiro ano de plantio. Isso ocorre principalmente pela diminuição da

quantidade de radiação solar que chega ao interior do dossel florestal. Portanto, deve-se priorizar um formato da copa e dos espaçamentos que permitam a entrada apropriada de radiação solar no dossel vegetativo para as plantas agrícolas, a fim de maximizar a sua taxa fotossintética (PAULA et al., 2013).

Como exemplo disso, podemos observar a diferença da entrada de radiação solar no dossel vegetativo das espécies florestais de um SAF de 11 anos de idade, no inverno de 2018. Na Figura 11A, as árvores do SAF apresentam o espaçamento entre as linhas de plantio de 6 m, podendo-se observar que as copas das árvores estão unidas, fechando o dossel e interceptando a maior parte da radiação solar incidente. Já na Figura 11B, no sistema com o espaçamento de 12 m, observa-se que existe uma maior entrada de radiação solar, e a interceptação é bem inferior ao espaçamento reduzido.



Figura 11 - Sistemas Agroflorestais no município de Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul. A Figura 11A demonstra um SAF onde as árvores estão espaçadas a 6 m (entre linhas), enquanto a Figura 11B demonstra um arranjo mais amplo, em que as árvores estão espaçadas a 12 m.

Fonte: Os autores.

O estabelecimento de espaçamentos adequados entre as plantas e entre as linhas de plantio das espécies florestais para cada cultivo agrícola em seu sub-bosque é muito importante, pois o manejo do SAF é mais complexo em comparação com o monocultivo, e uma das principais variáveis que controlam o crescimento e a produção das plantas é a radiação solar. Dessa forma, o arranjo entre as plantas deve ser considerado, assim como a utilização de linhas simples, duplas ou triplas, pois o manejo da luminosidade ao longo do tempo, junto às estratégias econômicas e culturais de desrama e desbaste pode ser fator crucial para obter sucesso nos SAFs.

Ao analisar a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa dos dois sistemas agroflorestais, com os espaçamentos de 6m e 12m entre as linhas de plantio, foi possível observar uma variação significativa nos valores. Para a espécie *E. urograndis*, observou-se uma diferença de 29,2% de interceptação de radiação entre os dois sistemas com espaçamentos diferentes. Já para a espécie *P. dubium*, esta variação foi de 31,3% (Figura 12).

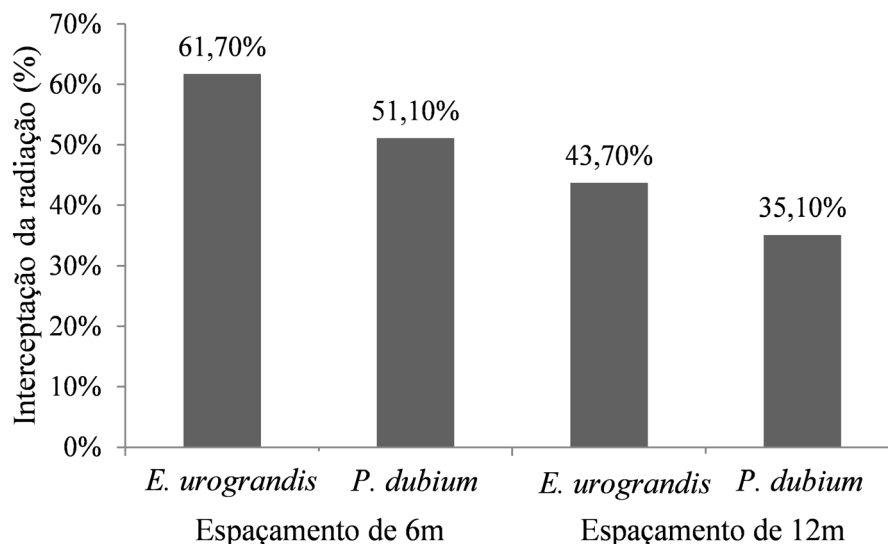


Figura 12 - Interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelo componente arbóreo de dois sistemas agroflorestais no município de Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul.

Fonte: Os autores.

Quando foi analisado o efeito da desrama de aproximadamente 1/3 da copa das árvores de *E. urograndis*, em dois SAFs com 11 anos de idade, observou-se uma diminuição na interceptação da radiação pelo dossel das árvores, ou seja, maior incidência de radiação solar no sub-bosque dos SAFs. Para o sistema com espaçamento de 6m entre linhas de plantio, relatou-se uma variação de 61,7% para 40,7% de interceptação da radiação, o que corresponde a uma redução de 34,0%. Já para o sistema com espaçamento de 12m entre linhas, observou-se uma variação de 43,7% para 38,79% o que corresponde a uma redução de 12,25% da interceptação da radiação solar (Figura 13). Esta maior redução relatada no sistema mais adensado, se justifica pelo fato de as copas das árvores estarem mais próximas umas das outras, competindo mais por radiação solar.

Além disso, trabalhos na literatura que estudaram os efeitos da poda em relação ao incremento em diâmetro das árvores relatam que a retirada de 1/3 dos galhos da parte inferior da copa, aumentou significativamente o incremento do DAP das árvores, assim como a radiação para o sub-bosque no SAFs. A medição da radiação solar em SAFs, bem como suas variações espaciais dentro do sistema é de muita importância para o entendimento da dinâmica dos SAFs, pois esta variável meteorológica condiciona a produção de biomassa, e não a avaliar dificulta o entendimento de como as diferentes espécies de plantas anuais possam responder ao sombreamento.

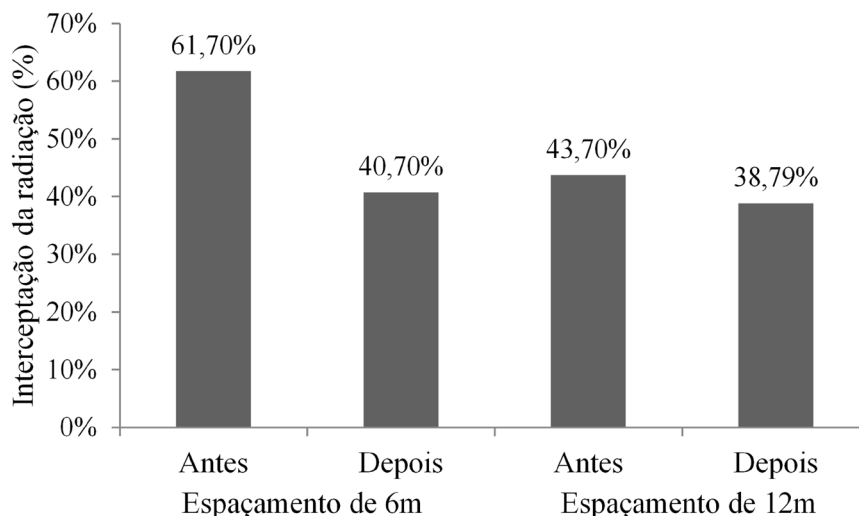


Figura 13 - Intercepção da radiação fotossinteticamente ativa da espécie *E. urograndis*, em dois sistemas agroflorestais, antes e após a poda das árvores (1/3 da copa), no município de Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul.

Fonte: Os autores.

Como vimos anteriormente, o arranjo da espécie florestal que irá constituir o SAF pode afetar substancialmente o crescimento, tanto do componente arbóreo quanto da espécie a ser cultivada em seu sub-bosque, devido aos efeitos das interações intra e interespecíficas (Figura 14). Resumidamente, espaçamentos mais adensados promovem uma maior produtividade florestal por unidade de área (por exemplo, incremento médio anual - IMA, em $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$, em detrimento a uma menor produtividade individual (por exemplo, diâmetro à altura do peito - DAP, ou volume por árvore) (BINKLEY et al., 2017). Arranjos mais adensados também promovem um fechamento mais rápido do dossel vegetativo, reduzindo a quantidade de radiação que chega ao sub-bosque para a cultura anual.

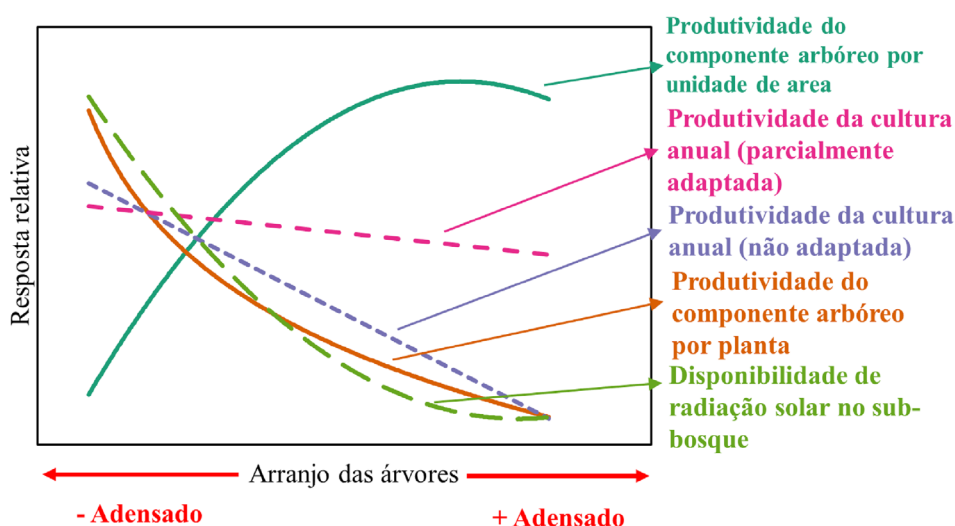


Figura 14 - Potenciais interações que podem ocorrer em sistemas agroflorestais, decorrentes do uso de arranjos florestais menos ou mais adensados.

Fonte: Os autores.

Obviamente, a intensidade dessas interações dependerá muito das condições ambientais do local de cultivo. Por exemplo, espaçamentos arbóreos mais adensados podem acarretar mortalidade do povoamento florestal em condições de alta demanda evaporativa da atmosfera e altos níveis de déficit hídrico, reduzindo a produtividade por unidade de área. Além das estratégias silviculturais citadas nesse capítulo visando aumentar a passagem de radiação solar pela copa das árvores, a escolha de culturas agrícolas, com certo nível de adaptação ao sombreamento, também pode ser muito importante para a manutenção de níveis satisfatórios de produtividade. Espécies ou cultivares mais adaptadas apresentam taxas de crescimento satisfatórias, mesmo com níveis altos de sombreamento impostos pelas árvores.

3.4 Considerações finais

Fica evidente que o arranjo das espécies arbóreas é um dos fatores mais relevantes para o sucesso de um sistema agroflorestal. Não existe uma regra definida quanto ao arranjo/densidade das árvores em SAFs, já que isso deve levar em consideração as culturas de importância da região em questão, demanda e preferência do mercado por produtos, tanto florestais quanto agrícolas, condições hídricas, térmicas e edáficas, bem como fatores econômicos, sociais, ecológicos e tecnológicos atuantes nas diferentes regiões brasileiras. Os SAFs são sistemas extremamente promissores no contexto atual e futuro. Entretanto, esses sistemas são muito complexos e exigem alto nível de conhecimento técnico, científico e prático. O número de estudos sobre arranjos de espécies florestais para compor SAFs tem crescido nos últimos anos, mas ainda precisamos testar sistemas e arranjos alternativos que possam atender às necessidades locais ou regionais.

3.5 Referências bibliográficas

- AERTS, R. Interspecific competition in natural plant communities: mechanisms, trade-offs and plant-soil feedbacks. **Journal of Experimental Botany**, Lancaster, n. 50, p. 29-37, 1999.
- BINKLEY, D. *et al.* The interactions of climate, spacing and genetics on clonal Eucalyptus plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology Management**, Amsterdam. v. 405, p. 271-283, 2017.
- BOSI, C. *et al.* Silvopastoral 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, 2020.
- CASPER, R. R.; JACKSON, B. R. Plant competition underground. **Annual reviews Ecology Systemic**, [S. l.], n. 28, p. 545-570, 1997.

- CONG, W. F. *et al.* Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. **Global Change Biology**, Nova Jersey, v. 21, p. 1715-1726, 2014.
- ELOY, E. *et al.* Effect of age and spacing on biomass production in forest plantations. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 42, n. 22, p. 01-11, 2018.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Agroforestry for landscape restoration: Exploring the potential of agroforestry to enhance the sustainability and resilience of degraded landscapes**. Rome, Italy, 22 p, 2017.
- GENDRON, F.; MESSIER, C.; COMEAU, P. G. Comparison of various methods for estimating the mean growing season percent photosynthetic photon flux density in forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, [S. l.], v. 92, n. 1, p. 55-70, 1998.
- GONÇALVES, J. L. *et al.* *Eucalyptus* plantation management in regions with water stress. **Journal Southern Forests: a Journal of Forest Science**, [S. l.], p. 1-15, 2017.
- GRIEU, P. *et al.* The mean depth of soil water uptake by two temperate grassland species over time subjected to mild soil water deficit and competitive association. **Plant and Soil**, [S. l.], n. 230, p. 197-209, 2001.
- GUSTAFSON, D. J.; GIBSON, D. J. E.; NICKRENT, D. L. Competitive relationships of *Andropogon gerardii* (Big Bluestem) from remnant and restored native populations and select cultivated varieties. **Functional Ecology**, London, v. 18, p. 451-457, 2004.
- JOSE, S.; GILLESPIE, A. R.; PALLARDY, S. G. Interspecific interactions in temperate agroforestry. **Agroforestry System**, Amsterdam, v. 61, p. 237-255, 2004.
- LEITE, F. P.; BARROS, N. F.; NOVAES, N. F. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 313-21, 1997.
- LELES, P. P. S. *et al.* Growth and biomass distribution in *E. camaldulensis* and *E. pellita* under different spacing in the savannah region, Brazil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.59, p. 77-87, 2001.
- LEMAIRE, G. Ecophysiological of Grasslands: Dynamics aspects of forage plant population in grazed swards. *In: Proceedings of the XIX International Grassland Congress*, São Pedro, p. 29-37, 2001.
- MAINA, G. M.; BROWN, J. S.; GERSANI, M. Intra-plant versus inter-plant root competition in beans: avoidance, resource matching or tragedy of the commons. **Plant Ecology**, [S. l.], n. 160, p. 235-247, 2002.
- MORRIS, E. C.; MYERSCOUGH, P. J. Selfthinning and competition intensity over a gradient of nutrient availability. **Journal of Ecology**, London, n. 79, p. 903-923, 1991.
- PARK, S.; BENJAMIN, R. L.; WATKINSON, A. R. The theory Application of Plant Competition Models: an Agronomic Perspective. **Ecology**, [S. l.], n. 82, p. 2525-2535, 2001.

PAULA R. R. *et al.* *Eucalyptus* growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 87, n. 6, p. 1295-1307, 2013.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan SA, 856 p., 2007.

Capítulo 4

Radiação solar e sua interação multiestrato em sistema agroflorestal

Felipe Schwerz

4.1 A radiação solar no sistema de produção

A radiação solar é a fonte primária de energia para todos os processos terrestres, desde a fotossíntese, responsável pela produção vegetal, bem como pela dinâmica da atmosfera terrestre e pelas características climáticas do planeta (PEREIRA et al., 2002). A radiação solar fornece, atualmente, para a atmosfera terrestre $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia (LARCHER, 2004). Desse total de radiação solar que chega até a superfície terrestre e conseqüentemente para os cultivos agrícolas, parte pode ser refletida, absorvida e/ou transmitida, esses modos de interação dependem do comprimento de onda (λ , nm) da radiação e do tamanho do constituinte atmosférico.

A radiação solar participa de vários processos fundamentais relacionados ao crescimento e desenvolvimento das plantas, incluindo fotossíntese, abertura estomática, ativação enzimática, reações metabólicas e características da copa e folha (BERLYN; CHO, 2000). As plantas utilizam a radiação solar com base em suas estruturas internas e externas, dependendo da disponibilidade de água para tais processos (BERLYN; CHO, 2000). A quantidade e a qualidade da radiação solar interceptada pelas plantas são reguladas por fatores como altitude, estrutura do dossel, nebulosidade, latitude, época do ano, hora do dia e topografia (BERLYN; CHO, 2000; ONG et al., 1996).

A quantificação da radiação solar incidente nos diferentes ambientes de produção é de fundamental importância. Nos sistemas agroflorestais se torna ainda mais relevante devido às inúmeras interações existentes entre as diferentes espécies, bem como a sua variabilidade espacial e temporal. Neste sentido, o conhecimento da quantidade de radiação solar incidente em um dado ambiente é essencial para o planejamento e implantação de sistemas agroflorestais, bem como para a tomada de decisão, uma vez que as práticas de manejo devem considerar a radiação solar como um fator condicionante para obtenção de produções satisfatórias.

A produção de biomassa pelas culturas está relacionada à quantidade de RFA interceptada e absorvida pelas folhas, e à eficiência com que estas convertem a energia radiante em energia química, pela fotossíntese (MONTEITH, 1972; SINCLAIR, 1975). Em sistemas agroflorestais (SAFs), os princípios relacionados à captura e conversão da radiação solar em biomassa se tornam ainda mais complexos devido à grande variabilidade nas condições meteorológicas em escala temporal e espacial, de acordo com as interações árvore-cultura do sub-bosque. Monteith *et al.* (1991) destacam a existência de interações em sistemas agroflorestais, onde a competição por recursos limitados é inevitável, tanto acima quanto abaixo do solo.

A estrutura básica dos sistemas agroflorestais é formada por seus constituintes e sua disposição na área de cultivo. Dada a grande diversidade de combinações espaciais e temporais possíveis, os SAFs se tornam sistemas altamente complexos que necessitam de uma abordagem multidisciplinar. Ainda, a possibilidade de exploração de diferentes estratos pode implicar em uma maior captura e aproveitamento da radiação solar, e

consequentemente, maior produção de biomassa. Neste sentido, torna-se importante o entendimento da radiação solar e sua interação com os diferentes estratos.

4.2 Características do estrato superior: “o efeito guarda-chuva”

O estrato superior dos sistemas agroflorestais geralmente é formado por espécies perenes, as quais são representadas, basicamente, pelas espécies arbóreas. Assim, a copa das árvores, caracterizada principalmente pelo índice de área foliar, vai determinar a quantidade de radiação solar interceptada pela planta, e consequentemente o quanto vai chegar até o solo. Neste contexto, torna-se importante o conhecimento das características específicas de cada espécie, tais como formato de copa, densidade de folhagem, forma e angulação de folha e características estruturais (BERLYN; CHO, 2000), as quais irão determinar a capacidade de interceptação da radiação solar pela planta.

A quantidade de radiação solar interceptada pelo estrato superior em um SAFs é de fundamental importância em virtude da relação existente com a disponibilidade de radiação para as culturas presentes no sub-bosque (Figura 15). Tal fator pode ser determinante para a produtividade do sistema (ONG et al., 2015). O dossel formado pelas árvores pode exercer cobertura parcial ou total sobre as demais, interceptando parte da radiação que chega à superfície durante o dia (Figura 15). Em contrapartida, exerce papel importante na retenção de energia devido à redução das perdas noturnas, uma vez que o dossel das árvores atua como barreira, impedindo, de certa forma, a radiação solar de retornar para a atmosfera (MONTEITH et al., 1991).



Figura 15 - Variabilidade espacial na distribuição da radiação solar em um sistema agroflorestal com eucalipto e capim braquiária na fazenda Nelson Guerreiro, Brotas, São Paulo.

Fonte: Felipe Schwerz.

Do total de radiação solar incidente, grande parte é utilizada na evapotranspiração (calor latente) e no aquecimento do ar e do solo (calor sensível), enquanto, durante a noite, a superfície aquecida perde calor continuamente, resultando no resfriamento do ambiente. Quanto mais exposto a céu aberto, mais intensa será a perda radiativa. Neste contexto, a presença de árvores exerce papel importante na retenção de energia, através da interceptação da radiação emitida pela superfície e a reemissão ao solo, impedindo o excesso de resfriamento noturno. Tal fato é especialmente relevante para as regiões com possibilidade de ocorrência de geadas (CARAMORI et al., 1996).

A presença do componente arbóreo no sistema agroflorestal exerce grande influência nas interações entre seus componentes. Segundo Nair (1993), a dinâmica da radiação solar nos sistemas agroflorestais é dependente das características das espécies utilizadas, as quais determinam uma maior ou menor interação árvore-cultura. Ainda, estudos relatam que a disponibilidade de radiação solar no sub-bosque dos SAFs se dá em função da proximidade das árvores (ONG et al., 1996), altura das árvores (REIFSNYDER; REIFSNYDER; DARNHOFER, 1989), natureza e estrutura da copa das árvores, posição do sol, latitude e altitude (BERLYN; CHO, 2000; ONG et al., 1996).

As árvores e as culturas interagem pela captura dos recursos, tais como radiação solar, água e nutrientes, podendo essas interações ser de natureza competitiva ou complementar (ONG et al., 1996). As árvores (estrato superior) podem ocupar espaços e aproveitar recursos não utilizados pelas culturas (estrato inferior), e o sistema como um todo pode ser mais eficiente na aquisição desses recursos do que o monocultivo por exemplo. Neste caso, temos uma situação de complementaridade do sistema em virtude da maior produção biológica e econômica do que os mesmos componentes cultivados isoladamente na mesma área (BERNARDES et al., 2009; RIGHI, 2000).

De acordo com Van Noordwijk e Lusiana (1999), quando ocorrem duas ou mais espécies diferentes em um sistema, há um gradiente de intensidade de interações, devido à exploração de diferentes estratos, sendo que, de modo geral, podem ocorrer situações de competição, complementaridade e/ou neutralidade. As interfaces entre componentes podem variar dependendo do benefício desejado da interação entre seus componentes (LUEDELING et al., 2016). Também se pode minimizar a competição por meio do manejo das espécies, sendo que este assunto será abordado posteriormente no item 4.

4.3 Plantas do estrato inferior e o aproveitamento da radiação solar

O restante da radiação solar que não é interceptada e aproveitada pelo estrato superior, representado aqui pelo componente arbóreo, fica disponível para ser aproveitado pelas plantas cultivadas no sub-bosque dos sistemas agroflorestais. De modo geral, há uma grande diversidade de espécies que podem ser cultivadas no interior destes sistemas, tais como culturas anuais, pastagens, olerícolas, frutíferas, plantas medicinais, entre outras. Tais

espécies podem apresentar maior ou menor interação dependendo das condições impostas, sendo que de modo geral o fator condicionante está relacionado ao recurso radiação solar.

A competição por radiação solar é uma das principais interações que ocorrem nos sistemas agroflorestais (LUEDELING et al., 2016; ONG et al., 2015; ZHANG et al., 2018). As árvores reduzem a quantidade de radiação solar que atinge o nível do solo e conseqüentemente as culturas (Figura 16). Logo, a competição pela radiação solar tem sido estudada em uma ampla gama de sistemas agroflorestais tropicais e temperados e modelos gerais desenvolvidos em vários níveis de escala espacial e temporal (BERNARDES et al., 2009; CANNELL et al., 1996; JOSE et al., 2008; ZHANG et al., 2018).



Figura 16 - Cultivo de feijão em sistema agroflorestal em Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul.

Fonte: Felipe Schwerz.

A radiação solar incidente no interior do SAF pode variar de acordo com a sombra proporcionada pela espécie florestal, ou seja, em alguns pontos tem-se radiação solar direta e em outros apenas radiação solar difusa. Neste sentido, a resposta das plantas ao sombreamento varia dependendo da espécie e do grau de sombreamento. Segundo Varella *et al.*, (2010), percentuais de transmissividade abaixo de 50% podem prejudicar o crescimento e desenvolvimento de forrageiras de clima temperado. Bosi *et al.* (2014), estudando sistemas silvipastoris com árvores nativas, encontraram que o sombreamento, maior que 39%, afeta a produtividade da espécie *Urochloa decumbens*. Em estudo realizado por Baruch e Guenni (2007), níveis de sombreamento acima de 35 a 40% podem afetar o crescimento da maioria das gramíneas tropicais. Além disso, a menor disponibilidade de radiação solar pode afetar as características produtivas, morfológicas e qualitativas das culturas, dependendo das espécies e arranjos agroflorestais utilizados (ELLI et al., 2016; PACIULLO et al., 2011; PILAU et al., 2015; SCHWERZ et al., 2017).

A radiação solar, ao atravessar o estrato superior dos sistemas agroflorestais, sofre modificações quantitativas e qualitativas, em virtude, especialmente, do efeito da copa das árvores. A quantidade e a qualidade da radiação solar interceptada pelas plantas são determinadas por fatores como altitude, estrutura do dossel, cobertura de nuvens, latitude, época do ano, hora do dia e topografia (ONG et al., 1996; BERLYN; CHO, 2000). Grande parte da radiação solar que atravessa a copa das árvores passa por um processo de difusão de radiação, a qual muda a direção dos raios solares (multidirecional). Essa parte da radiação solar é chamada de radiação difusa (PEREIRA et al., 2002).

De acordo com Sinclair (1975) e Bernardes *et al.* (2000), grande parcela da energia disponível para as plantas está na forma de radiação difusa, que por ser multidirecional atinge mais facilmente o interior da copa e as partes inferiores do dossel. Neste sentido, no SAFs a radiação difusa assume um papel de maior importância para o acúmulo de matéria seca pela fotossíntese, na maior parte das situações, que a radiação direta. Segundo Sinclair e Muchow (1999), a eficiência de conversão das culturas é maior na radiação difusa do que na radiação direta.

Neste contexto, a presença de árvores modifica o microclima do sistema agroflorestal em termos de radiação solar, temperatura, umidade relativa, velocidade do vento, entre outros fatores. As árvores reduzem o movimento do ar, servindo como quebra-vento e, assim, promovem condições mais frias e úmidas no local (Figura 17). Reduções de temperatura podem ajudar a reduzir o estresse térmico das culturas, reduzindo as taxas de transpiração foliar e evaporação do solo (Figura 17). Combinados, esses fatores têm um efeito moderador no microclima local (JOSE et al., 2008; MONTEITH et al., 1991; ZHANG et al., 2018).

As alterações quantitativas e qualitativas na radiação solar incidente no sub-bosque dos sistemas agroflorestais podem acarretar modificações nas características térmicas e fisiológicas das culturas. As plantas se adaptam de acordo com as condições de disponibilidade de radiação solar. Maiores informações sobre as modificações morfoanatômicas das culturas presentes no sub-bosque dos sistemas agroflorestais podem ser observadas no Capítulo 5.

4.4 O que pode ser feito para aumentar a captação de radiação solar pelos SAFs?

Um princípio básico dos sistemas agroflorestais é que a produtividade pode aumentar se as árvores capturarem recursos que são subutilizados pelas culturas (CANNELL et al., 1996). Esta premissa realça a importância da abordagem multiestratos e do uso mais eficiente do espaço e do tempo. Neste contexto, o cultivo nestes sistemas pode ser visto como uma série complexa de interações guiadas pela utilização de radiação solar, água, solo e nutrientes. Uma compreensão dos processos e mecanismos biofísicos envolvidos na utilização desses recursos é essencial para o desenvolvimento de sistemas agroflorestais ecologicamente corretos (ONG et al., 1996).



Figura 17 - Presença de árvores modifica o microclima e favorece o conforto térmico animal em um sistema agroflorestal com eucalipto e capim braquiária na fazenda Nelson Guerreiro, Brotas, São Paulo.

Fonte: Felipe Schwerz.

Para aumentar a captação e o aproveitamento da radiação solar disponível nos sistemas agroflorestais, é essencial uma compreensão dos fatores envolvidos e suas interações em termos de funcionamento do sistema (BERLYN; CHO, 2000). Esse conhecimento facilita o planejamento do sistema, levando a um manejo mais eficiente, principalmente através da seleção de combinações de espécies adequadas (ASHTON; DUCEY, 2000).

As espécies utilizadas nos sistemas agroflorestais competem por recursos de crescimento (ONG et al., 2014; NAIR, 1993; ZHANG et al., 2018), as quais são baseadas por suas necessidades e disponibilidade de recursos (VAN NOORDWIJK; PURNOMOSIDHI, 1995). As necessidades e interações de recursos das espécies arbóreas são influenciadas por características das árvores, como arquitetura da copa, fenologia e comportamento decíduo das folhas, sendo que isso pode determinar a intensidade da competição entre os componentes do sistema árvore-cultura. A época de plantio da cultura, a aplicação de fertilizantes, o manejo de irrigação (HUXLEY, 1996), a densidade e orientação (GHEZEHEI, 2013) e a poda das raízes (SCHROTH, 1995) também podem afetar as interações entre árvores e culturas de maneira positiva ou negativa (ONG et al., 2014).

O sucesso do estabelecimento de culturas no estrato inferior dos sistemas agroflorestais é dependente da quantidade de radiação solar transmitida e que está disponível para as plantas (Figura 15). Para tanto, a distribuição espacial da radiação transmitida depende do

manejo da copa das árvores (ONG et al., 2014), desrama e desbaste (Figura 18), geometria de plantio das espécies componentes, do espaçamento entre árvores e da orientação das fileiras (BERLYN; CHO, 2000; ONG et al., 1996). Para otimizar a distribuição da radiação solar devem ser usados planos de manejo apropriados (GHEZEHEI, 2013; ZHANG et al., 2018), que são especialmente eficazes durante o estabelecimento da cultura (ONG et al., 2014; REIFSNYDER; REIFSNYDER; DARNHOFER, 1989).



Figura 18 – Manejo da desrama em sistema agroflorestal com eucalipto e capim braquiária na fazenda Nelson Guerreiro, Brotas, São Paulo.

Fonte: Felipe Schwerz.

O manejo da radiação solar nos sistemas agroflorestais pode se dar por diferentes maneiras, seja pela escolha das espécies arbóreas ou pela adoção de estratégias adequadas de manejo. No que se refere à escolha da espécie arbórea, pode-se optar pelo uso de plantas com copas menos densas e com hábito decíduo, ou seja, que perdem suas folhas em determinadas épocas do ano, principalmente no outono-inverno. Sobre as estratégias de manejo, destacam-se a disposição, o espaçamento e o arranjo de plantio, bem como a realização de desramas e desbastes, com o intuito de favorecer a passagem de radiação solar para o interior do SAF. Por exemplo, Bosi *et al.* (2020) concluíram que os SAFs implantados na direção Leste-Oeste promoveram pouca variação no movimento de sombra ao longo do dia e, por outro lado, intensa variação ao longo do ano como consequência da variação da declinação solar. Além disso, Caron *et al.* (2018) observaram que a realização de desrama nas árvores (50% do volume da copa) aumentou, em média 88% a transmissividade de radiação solar e 111% a produtividade da soja cultivada em sistemas agroflorestais no Sul do Brasil.

Uma compreensão fundamental de como os sistemas agroflorestais usam os recursos disponíveis é, no entanto, vital para estabelecer combinações ideais de espécies, arranjos de plantio, densidades de árvores e estratégias de manejo para diferentes locais (LUEDELING et al., 2016; ONG et al., 2015). Para tanto, o primeiro aspecto a ser considerado se refere à quantificação da interceptação de radiação solar pelo componente arbóreo, e assim verificar a quantidade de radiação incidente no interior do sistema agroflorestal. A partir desta informação básica pode-se iniciar o planejamento e a implantação de sistemas agroflorestais com melhor captação e aproveitamento da radiação solar.

A complexidade das interações depende do planejamento, da composição e da maturidade do sistema agroflorestal (JOSE et al., 2008; ONG et al., 1996). No início do estabelecimento dos sistemas agroflorestais, em virtude da menor interceptação da radiação solar pelo componente arbóreo, o cultivo de culturas no interior do sistema é favorecido. No entanto, com o crescimento em altura e projeção de copa, as árvores passam a interceptar maior quantidade de radiação solar e assim exercer maior influência sobre as culturas presentes no estrato inferior. Neste sentido, torna-se importante o planejamento temporal e a distribuição espacial das plantas a fim de possibilitar condições competitivas para ambas as espécies, sendo que as interfaces entre os componentes podem variar dependendo do benefício desejado da interação entre seus componentes (LUEDELING et al., 2016; RIGHI, 2000).

A importância de multiestratos se deve a maior captação de radiação solar, uma vez que através da combinação de espécies adequadas, cada uma delas se encaixa no espaço não ocupado pela outra, maximizando o uso do espaço e dos recursos. Espécies arbóreas adequadas são caracterizadas especialmente por uma forma de copa compacta e estrutura ereta (VAN NOORDWIJK; PURNOMOSIDHI, 1995; ZHANG et al., 2018). Já para as culturas anuais, as espécies de culturas C4 têm um nível de saturação de luz fotossintética muito mais elevado para a radiação solar incidente do que as culturas C3 e, portanto, têm uma maior limitação do que as culturas C3. Assim, as culturas C3 são mais apropriadas do ponto de vista biofísico em ambientes com menor disponibilidade de radiação solar (TAIZ et al., 2017). No entanto, esta condição pode ser considerada genérica, uma vez que a escolha das espécies depende de uma série de fatores, sendo que um dos principais deles se refere ao retorno econômico e ao próprio interesse particular do agricultor em cultivar determinadas espécies em vez de outras.

4.5 Considerações finais

A existência de diferentes estratos nos sistemas agroflorestais proporciona melhor eficiência na captura e no aproveitamento da radiação solar incidente e na produção de biomassa pelo sistema. Dessa forma, a eficiência do sistema está diretamente relacionada com a quantidade e qualidade de radiação solar disponível para as espécies que compõe o sistema.

O sucesso na implantação e no estabelecimento de sistemas agroflorestais depende de uma série de fatores, como a seleção de combinações de espécies adequadas, espaçamento e densidade de plantio, orientação e disposição das espécies e manejo contínuo das culturas, seja por meio da desrama e/ou desbaste. Todos estes fatores são guiados em virtude do maior aproveitamento dos recursos disponíveis, especialmente a radiação solar.

É imprescindível o entendimento das interações biofísicas existentes em um sistema agroflorestal. Tal conhecimento poderá habilitar as pessoas a empregar e a manejar tais sistemas com maior sucesso, alcançando produções satisfatórias. Além disso, os sistemas agroflorestais exercem importantes serviços ambientais e sociais que devem ser considerados no cômputo geral.

4.6 Referências bibliográficas

- ASHTON, M. S.; DUCEY, M. J. Agroforestry systems as successional analogs to native forests. *In*: ASHTON, M. S.; MONTAGNINI, F. **The Silvicultural Basis for Agroforestry Systems**. Boca Raton, Florida: CRC Press, p. 207-228, 2000.
- BARUCH, Z.; GUENNI, O. Irradiance and defoliation effects in three species of the forage grass *Brachiaria*. **Tropical Grasslands**, [S. l.], v. 41, n. 4, p. 269-276, 2007.
- BERLYN, G. P.; CHO, J. Light, moisture and nutrient use by plants. *In*: ASHTON, M. S.; MONTAGNINI, F. **The Silvicultural Basis for Agroforestry Systems**. Boca Raton, Florida: CRC Press, p. 9-39, 2000.
- BERNARDES, M. S.; LIMA, S. F. F. **Densidade populacional, disposição e direção de linhas de plantio, manejo da copa: a luz como fator essencial**. Piracicaba: ESALQ, 55 p., 2000.
- BERNARDES, M. S.; PINTO, L. F. G.; RIGHI, C. A. Interações biofísicas em sistemas agroflorestais. **Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação**, Manaus, v. 1, p. 423-446, 2009.
- BOSI, C. *et al.* Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 6, p. 449-456, 2014.
- BOSI, C. *et al.* Silvopastoral 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, 2020.
- CANNELL, M. G. R.; VAN NOORDWIJK, M.; ONG, C. K. The central agroforestry hypothesis: the trees must acquire resources that the crop would not otherwise acquire. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 34, p. 27-31, 1996.
- CARAMORI, P. H.; ANDROCIOILLI FILHO, A.; LEAL, A. C. Coffee shade with *Mimosa scabrella* Benth. for frost protection in southern Brazil. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 33, p. 205-214, 1996.

- CARON, B. O. *et al.* Dynamics of solar radiation and soybean yield in agroforestry systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 4, p. 3799-3812, 2018.
- ELLI, E. F. *et al.* Productive, morphological and qualitative characteristics of sugarcane in the understory tree species in agroforestry systems. **African Journal of Agricultural Research**, [S. l.], v. 11, n. 17, p. 1576-1584, 2016.
- GHEZEHEI, S. B. **Plant productivity, radiation interception and water balance as indicators of tree-crop interactions in hedgerow intercropping systems: a *Jatropha-kikuyu* case study**. 2013. Tese - Faculty of Natural and Agricultural Sciences University of Pretoria, University of Pretoria. South Africa, 165 p. 2013.
- JOSE, S.; ALLEN, S. C.; NAIR, P. R. Tree-crop interactions: lessons from temperate alley-cropping systems. **Ecological Basis of Agroforestry**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 15-36, 2008.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Editora Rima, 531 p., 2004.
- LUEDLING, E. Field-scale modeling of tree-crop interactions: Challenges and development needs. **Agricultural Systems**, [S. l.], v. 142, p. 51-69, 2016.
- MONTEITH, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 747-766, 1972.
- MONTEITH, J. L.; ONG, C. K.; CORLETT, J. E. Microclimatic interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 45, n. 4, p. 31-44, 1991.
- NAIR, P. K. R. **An Introduction to Agroforestry**. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 449 p., 1993.
- ONG, C. K.; BLACK, C.; WILSON, J. **Tree-crop interactions: agroforestry in a changing climate**. Wallingford, UK: CAB International. 360 p, 2015.
- ONG, C. *et al.* Agroforestry: hydrological impacts. *In*: VAN ALFEN, N. (ed.) **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**. San Diego, California: Elsevier, p. 244-252, 2014.
- ONG, C. K. *et al.* Principles of resource capture and utilization of light and water. *In*: ONG, C. K.; HUXLEY, P. (eds) **Tree-Crop Interactions: a Physiological Approach**. Wallingford, UK: CAB International, p. 73-158, 1996.
- PACIULLO, D. S. C. *et al.* Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, p. 1176-1183, 2011.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropécuaária, 478 p., 2002.
- PILAU, J. *et al.* Development and quality of ryegrass in an understory of angico-vermelho in a silvopastoral system. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 4, p. 437-445, 2015.

- REIFSNYDER, W. S.; REIFSNYDER, W. E.; DARNHOFER, T. **Meteorology and Agroforestry: Proceedings of an International Workshop on the Application of Meteorology to Agroforestry Systems Planning and Management**. World Agroforestry Centre, Nairobi, 1989. p. 9-13.
- RIGHI, C. **Interações ecofisiológicas acima e abaixo do solo em um sistema agroflorestal de seringueira (*Hevea brasiliensis*) e feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*)**. 2000. Dissertação - Fitotecnia, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP: Esalq-USP, 138 p. 2000.
- SCHROTH, G. Tree root characteristics as criteria for species selection and systems design in agroforestry. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 30, p. 125-143, 1995.
- SCHWERZ, F. *et al.* Yield and qualitative traits of sugarcane cultivated in agroforestry systems: Toward sustainable production systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**, [S. l.], v. 4, p. 1-13, 2017.
- SINCLAIR, R. R. Solar radiation in vegetative canopies and its physiological implications. **What's New in Plant Physiology**, [S. l.], v. 7, p. 1-15, 1975.
- SINCLAIR, T. R.; MUCHOW, R. C. Radiation use efficiency. **Advances in Agronomy**, [S. l.], v. 65, p. 215-265, 1999.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 888 p., 2017.
- VAN NOORDWIJK, M.; PURNOMOSIDHI, P. Root architecture in relation to tree-soil-crop interactions and shoot pruning in agroforestry. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 30, p. 161-173, 1995.
- VAN NOORDWIJK, M.; LUSIANA, B. WaNuLCAS, a model of water, nutrient and light capture in agroforestry systems. *In: Agroforestry for Sustainable Land-Use Fundamental Research and Modelling with Emphasis on Temperate and Mediterranean Applications*. Netherlands: Springer, p. 217-242, 1999.
- VARELLA, A. C. *et al.* Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system? **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 20, n. 2, p. 1-17, 2010.
- ZHANG, D. *et al.* Agroforestry enables high efficiency of light capture, photosynthesis and dry matter production in a semi-arid climate. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 94, p. 1-11, 2018.

Capítulo 5

Modificações anatômicas e fisiológicas de culturas presentes no sub-bosque em sistemas agroflorestais

Denise Schmidt
Daniele Cristina Fontana

5.1 Introdução

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são formas de cultivo, onde espécies arbóreas são plantadas na mesma unidade de manejo com espécies anuais de interesse agrícola ou espécies de importância forrageira, tanto em combinações espaciais quanto sequenciais no tempo. Com isso, na mesma área de cultivo têm-se plantas de distintos portes, o que provoca alterações no ambiente, principalmente no que se refere à luminosidade, pois a radiação solar que incide no topo do sistema agroflorestal passará por reduções significativas em sua intensidade. Uma parte desta radiação será absorvida, outra será refletida pela copa das árvores e finalmente uma terceira parte será transmitida para as camadas inferiores do ambiente de cultivo. Consequentemente, a radiação solar que chega ao sub-bosque apresenta menor intensidade (ARAGÃO et al., 2014; LOPES et al., 2017).

A luz é um dos fatores mais limitantes para o crescimento de espécies no sub-bosque. Quanto maior a intensidade do sombreamento provocado pelas espécies florestais, maior será a redução no potencial produtivo das espécies do sub-bosque. Deste modo, é necessário utilizar estratégias para aumentar a eficiência dos SAFs, desenhando arranjos e manejando o sistema, de modo a favorecer o desenvolvimento das plantas com estímulos que tornem o ambiente mais favorável para as espécies de interesse agrícola, já que elas apresentam respostas fisiológicas aos estímulos do ambiente (GLIESSMAN, 2000).

De maneira geral, todas as espécies do sub-bosque submetidas ao consórcio com espécies arbóreas irão apresentar mudanças anatômicas e fisiológicas importantes, promovidas pelo sombreamento, reduzindo a máxima expressão do potencial produtivo. A capacidade de ajuste das plantas em resposta às alterações na disponibilidade de recursos do ambiente é conhecida como plasticidade fenotípica (BÄCHTOLD; MELO JÚNIOR, 2015; GRATANI, 2014). Já a amplitude de respostas possíveis dentro de uma espécie, pode ser expressa pelo processo de aclimação (CHAMBEL; CLIMENT; VALLADARES, 2005). Portanto, espécies vegetais com maior plasticidade possuem maior adaptabilidade, superam pressões e podem sobreviver em um ambiente que apresenta heterogeneidade em termos de recursos disponíveis, podendo sobreviver mesmo com menor quantidade de radiação solar disponível.

Os ajustes fenotípicos para a aclimação das plantas em diferentes condições de luminosidade podem ser fisiológicos e anatômicos (TAVARES, 2015) e atuam, principalmente, na regulação da fotossíntese, de forma a manter positivo o balanço de carbono e a máxima condição funcional (FENG et al., 2019; RODRÍGUEZ-CALCERRADA et al., 2008). Modificações em tecidos fotossintetizantes e não fotossintetizantes relacionados à captação de luz e CO₂ são exemplos de mecanismos de aclimação (GOMMERS et al., 2013; KONO; TERASHIMA, 2014; RABELO et al., 2013; TIAN et al., 2016), pois permitem a manutenção do processo fotossintético, mantendo sua eficiência mesmo em condições menos favoráveis.

5.2 Modificações anatômicas e fisiológicas nas folhas

A folha é o órgão de maior exposição às variáveis ambientais e, por essa razão, é considerado um órgão vegetal com maior nível de plasticidade e ajuste a diferentes condições ambientais (CASTRO et al., 2009). Por manter contato direto com o ambiente, a epiderme está sujeita a modificações estruturais em decorrência dos fatores ambientais. As células epidérmicas, bem como seu revestimento hidrofóbico, a cutícula, representam uma superfície refletora e têm papel fundamental na reflexão da radiação solar, impedindo o superaquecimento da folha (NULTSCH, 2000). Dessa forma, ocorrem variações na espessura do tecido epidérmico conforme a radiação solar a que é submetido. Folhas aclimatadas à baixa radiação apresentam redução na espessura da camada cuticular, assim como diminuição no espessamento das paredes do tecido epidérmico (ASHTON; BERLYN, 1992; SABBI et al., 2010). Tais ajustes permitem a captura mais eficiente da luz, pois reduzem a refletividade, em condições de restrita disponibilidade de radiação solar.

Na epiderme, para que a planta continue suas funções fisiológicas, é possível verificar o ajuste dos estômatos quanto à localização, tamanho e número, tendo em vista que essas estruturas estão diretamente relacionadas à captação de CO₂ e à capacidade fotossintética das folhas. Frequentemente, há redução na densidade estomática em folhas sob baixas condições de luminosidade (BOEGER et al., 2009; MAGALHÃES et al., 2009; VOLTOLINI; SANTOS, 2011). Neste caso, a menor densidade estomática está relacionada com a menor taxa fotossintética das folhas sob sombra (LIMA JUNIOR et al., 2006).

Algumas espécies têm respostas diferenciadas, pois a densidade de estômatos na epiderme pode aumentar sob condições de sombreamento (GOBBI et al., 2011; SCHMIDT et al., 2017), sendo essa uma estratégia para a folha manter influxo de CO₂ necessário, com o objetivo de permitir que a planta continue eficiente nas trocas gasosas, não limitando a fotossíntese sob condições de baixa luminosidade (BATAGIN et al., 2009).

As dimensões dos estômatos também são ajustadas em função da luminosidade. Observa-se aumento no tamanho dos estômatos em espécies cultivadas no sub-bosque e redução dos estômatos em ambientes com elevada luminosidade (DUZ, 2001; SCHMIDT et al., 2017). Quando a planta está exposta ao sol, tende a perder mais água em consequência da forte demanda evaporativa da atmosfera, tornando necessário um rápido movimento estomático para evitar a desidratação da planta. Neste sentido, a presença de estômatos maiores em espécies cultivadas no sub-bosque permite que a condutância estomática seja semelhante às folhas das plantas cultivadas em pleno sol, que possuem estômatos menores (SANTOS et al., 2013).

Mudanças na disponibilidade de luz também podem acarretar respostas na espessura do mesofilo e, conseqüentemente, da lâmina foliar. Folhas sob condições de baixa luminosidade tendem a apresentar menor espessura quando comparadas às folhas de sol (GOBBI et al., 2011). Essas alterações estruturais encontradas entre folhas submetidas

a diferentes níveis de radiação podem ser atribuídas a diferentes concentrações de fito-hormônios, especialmente de auxina, pois sua maior concentração ocorre nas regiões menos iluminadas. Assim, as folhas mais iluminadas apresentam maiores teores deste fito-hormônio no mesofilo, enquanto, em plantas sombreadas, as auxinas são encontradas em toda a folha, inclusive na epiderme, permitindo maior distensão dessas células (MORAIS et al., 2004).

A redução em espessura da folha está associada à diminuição do tamanho, da compactação e das camadas de células do parênquima paliçádico. Esses ajustes ocorrem para promover a penetração mais intensa dos feixes de luz (GOBBI et al., 2011). O sombreamento também provoca a redução da área foliar específica e dos valores de densidade foliar devido à diminuição da espessura do parênquima paliçádico (BIREAHLS, 2019).

A espessura do parênquima lacunoso tem relação inversa com a disponibilidade luminosa, pois ocorre aumento na proporção de espaços intercelulares em condições de restrição (Figura 19). Essa característica está relacionada à estratégia do mesofilo em reduzir a resistência à difusão de gases, resultando no aumento da condução e distribuição de CO₂ no interior das folhas, visando aumentar sua eficiência fotossintética (GOBBI et al., 2011). O aumento dos espaços intercelulares no parênquima lacunoso, somado ao formato irregular de suas células permite maior dispersão e propagação dos feixes de luz para todas as partes do mesofilo, favorecendo a captação luminosa pelas clorofilas (AMORIM; MELO JUNIOR, 2017; FERMINO JUNIOR, 2004).

Em contrapartida a menor espessura foliar, há aumento da área foliar específica com o aumento do sombreamento. Esta adaptação permite às folhas investirem em crescimento e alongamento da superfície fotossintetizante, aumentando a eficiência na interceptação da radiação solar (LENHARD et al., 2013). Neste processo, ocorre o investimento em folhas com área superficial maior, no entanto, com menor densidade em massa, devido à redução na espessura da folha.

Folhas sujeitas a diferentes condições de radiação solar podem apresentar modificações na concentração dos pigmentos fotossintetizantes. As folhas aumentam o teor de clorofila, de modo a potencializar a absorção da radiação fotossinteticamente ativa no ambiente escasso por esse recurso (BARUCH; GUENNI, 2007). Considerando que a proporção de clorofila a e b representa o ambiente de luz da planta (DALE; CAUSTON, 1992), para plantas que crescem em condições de sombreamento, a clorofila b assume papel importante no funcionamento do fotossistema II (KOIKE et al., 2001; NAKAZONO et al., 2001).

Plantas cultivadas em sub-bosque apresentam menor teor de carotenoides quando comparado com plantas de sol (CONDE et al., 2018). Esta alteração fisiológica ocorre devido ao papel de fotoproteção que os carotenoides exercem nas membranas das folhas. Plantas cultivadas em pleno sol recebem grande quantidade de energia e por isso, as membranas relacionadas com as atividades fotossintéticas podem ser facilmente danificadas e necessitam maior teor de carotenoides para auxiliar na dissipação da energia (TAIZ et al., 2017).

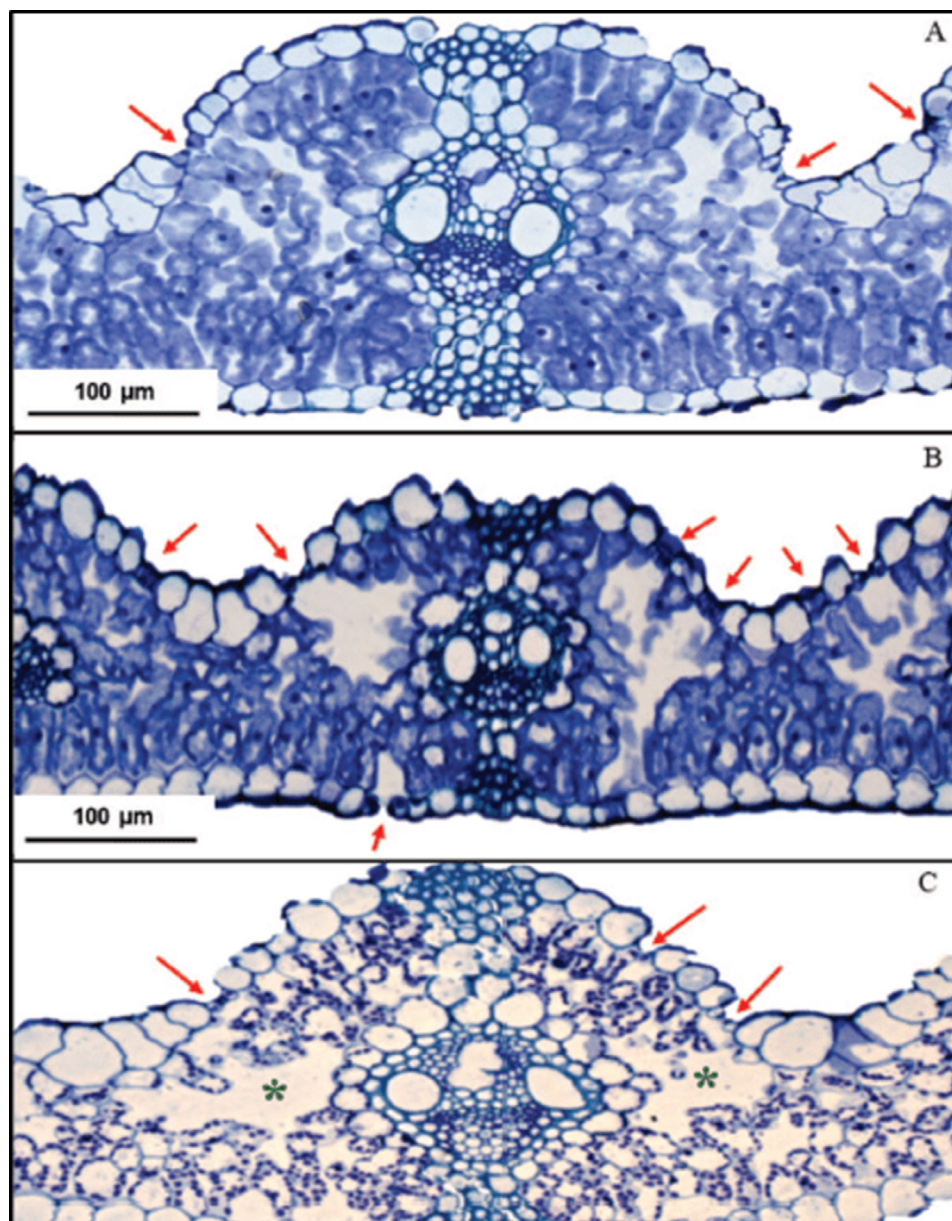


Figura 19 - Aspecto geral do mesofilo de folha de azevém cultivado em pleno sol (A), em sub-bosque de angico-vermelho (B) e canafístula (C). Asteriscos indicam espaços intercelulares. Setas vermelhas indicam estômatos (SCHMIDT et al., 2017).

Fonte: Denise Schmidt.

A taxa de fotossíntese e a condutância estomática são reduzidas quando em condições de baixa radiação, enquanto a concentração intercelular de CO_2 aumenta nestas condições. Neste mesmo aspecto, a taxa de transpiração e a eficiência no uso da água diminuem, enquanto a resistência à difusão das folhas aumenta significativamente com a redução da radiação solar (BHATT, 1999).

Os ajustes compensatórios que ocorrem em função das flutuações na disponibilidade de luz, acontecem no sentido de compensar os efeitos causados pela redução na luminosidade e buscar o equilíbrio funcional de forma a assegurar a manutenção da atividade fotossintética (POORTER et al., 2011; SILVA, 2020).

Uma visão geral das alterações anatômicas e fisiológicas observadas em plantas cultivadas no sub-bosque pode ser observada na Figura 20.

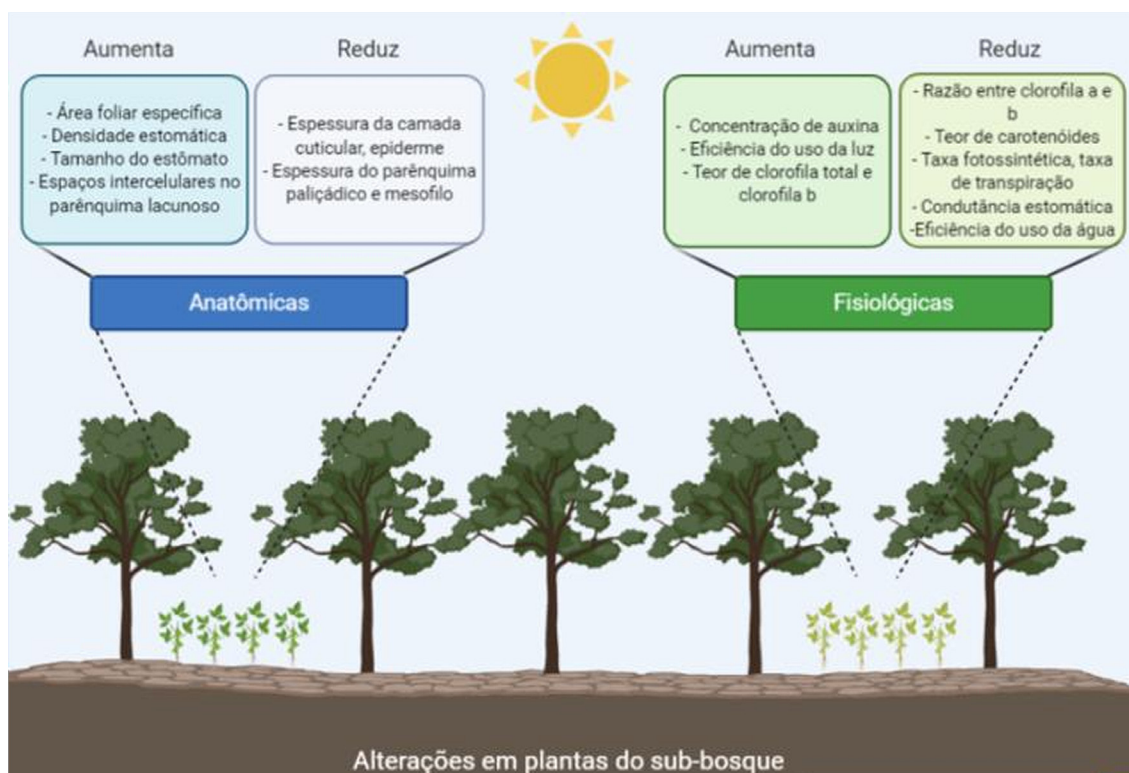


Figura 20 - Esquema mostrando as principais alterações anatômicas e fisiológicas encontradas em plantas cultivadas no sub-bosque.

Fonte: Daniele Fontana.

5.3 Considerações finais

Para alcançar produtividades satisfatórias no sistema agroflorestal é necessário conhecer os efeitos da redução da entrada de radiação solar sobre os aspectos anatômicos e fisiológicos das espécies cultivadas no sub-bosque, determinando sua capacidade de aclimação.

Assim, as condições mais favoráveis do ambiente podem ser encontradas com a seleção de espécies com elevado grau de plasticidade e, portanto, aclimatadas ao sombreamento, somado ao arranjo e à distribuição das espécies florestais em disposições adequadas que permitam minimizar a competição e maximizar o aproveitamento dos recursos naturais sem alterações profundas na produção.

5.4 Referências bibliográficas

AMORIM, M. W.; MELLO JUNIOR, J. C. F. de. Plasticidade morfoanatômica foliar de *Tibouchina clavata* (Melastomataceae) ocorrente em duas formações de restinga. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 2, p. 545-555, 2017.

- ARAGÃO, L. E. O. C. *et al.* Environmental change and the carbon balance of Amazonian forests. **Biological Reviews**, [S. l.], v. 89, p. 913-931, 2014.
- ASHTON, P. M. S.; BERLYN, G. P. Leaf adaptation of some *Shorea* species to sun and shade. **New phytologist**, London, v. 121, p. 587-596, 1992.
- BÄCHTOLD, B. A.; MELO JUNIOR, J. C. F. Plasticidade morfológica de *Calophyllum brasiliense* Camb. (Calophyllaceae) em duas formações de restinga no sul do Brasil. **Acta Biológica Catarinense**, Curitiba, v. 2, n. 2, p. 21-32, 2015.
- BARUCH, Z.; GUENNI, O. Irradiance and defoliation effects in three species of the forage grass *Brachiaria*. **Tropical Grasslands**, [S. l.], v. 41, n. 1, p. 269, 2007.
- BHATT, R. K. Alterações fisiológicas em espécies de *Sesbania* para redução da intensidade luminosa. **Revista de agronomia e ciência das culturas**, [S. l.], v. 182, n. 1, p. 43-47, 1999.
- BATAGIN, K. D. *et al.* Alterações morfológicas foliares em abacaxizeiros cv. IAC “Gomo de Mel” micropropagados e aclimatizados em diferentes condições de luminosidade. **Acta Botânica Brasileira**, São Paulo, v. 23, p. 85-92, 2009.
- BIREAHLS, A. **Luminosidade em folhas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage: análises morfofisiológicas**. 2019. Dissertação - Ecossistemas Agrícolas e Naturais, Universidade Federal de Santa Catarina. Curitibanos, Santa Catarina, 114 p. 2019.
- BOEGER, M. R. T. *et al.* Variação estrutural foliar de espécies medicinais em consórcio com erva-mate, sob diferentes intensidades luminosas. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 39, n.1, p. 215-225, 2009.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia Vegetal: Estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 234 p., 2009.
- CHAMBEL, M. R.; CLIMENT, J.; VALLADARES, F. Phenotypic plasticity: a useful framework for understanding adaptation in forest species. **Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales**, Madrid, v. 14, n. 3, p.334-344, 2005.
- CONDE, R. A. R. *et al.* Biometria e caracterização bioquímica de plantas de curauá cultivadas em monocultivo e consorciado. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 20, n. 1, p. 28-38, 2018.
- DALE, M. P.; CAUSTON, D. R. Use of the chlorophyll a/b ratio as a bioassay for the light environment of a plant. **Functional Ecology**, [S. l.], v. 6 p. 190-196, 1992.
- DUZ, S. R. **Respostas de Crescimento de três espécies arbóreas da Floresta Atlântica à variação na quantidade de luz**. 2001. Dissertação - Curso de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 76 p. 2001.

- FENG, L. *et al.* The Influence of Light Intensity and Leaf Movement on Photosynthesis Characteristics and Carbon Balance of Soybean. **Frontiers in Plant Science**, [S. l.], v. 9, n. 8, p.1-16, 2019.
- FERMINO JUNIOR, P. C. P. **Anatomia ecológica comparada de folhas de *Guapira opposita* (Vell.) Reitz (Nyctaginaceae) na vegetação de restinga e na Floresta Ombrófila Densa**. 2004. Dissertação - Curso de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Santa Catarina, 69 p. 2004.
- GLIESSMAN, S. R. **A história da agroecologia**. Porto Alegre: UFRGS, p. 51-52, 2000.
- GOBBI, K. F. *et al.* Área foliar específica e anatomia foliar quantitativa do capim-braquiária e do amendoim-forrageiro submetidos a sombreamento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Minas Gerais, v. 40, p. 1436-1444, 2011.
- GOMMERS, C. M. M. *et al.* Shade tolerance: when growing tall is not an option. **Trends in plant science**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 65-71, 2013.
- GRATANI, L. Plant phenotypic plasticity in response to environmental factors. **Advances in Botany**, [S. l.], v. 2014, p. 1-17, 2014.
- KOIKE, T. *et al.* Leaf morphology and photosynthetic adjustments among deciduous broadleaved trees within the vertical canopy profile. **Tree Physiology**, Oxford, v. 21, p. 951-958, 2001.
- KONO, M.; TERASHIMA, I. Long-term and short-term responses of the photosynthetic electron transport to fluctuating light. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, [S. l.], v. 137, p. 89-99, 2014.
- LENHARD, N. R. *et al.* Crescimento de mudas de pau-ferro sob diferentes níveis de sombreamento. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, p. 178-186, 2013.
- LIMA JUNIOR, É. C. *et al.* Trocas gasosas, características das folhas e crescimento de plantas jovens de *Cupania vernalis* Camb. submetidas a diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 5, p. 1092-1097, 2006.
- LOPES, C. M.; PACIULLO, D. S. C.; ARAÚJO, S. A. C. Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Brasília, v. 69, n. 1, p. 225-233, 2017.
- MAGALHÃES, N. S.; MARENCO, R. A.; MENDES, K. R. Aclimação de mudas de acariquara à alta irradiância. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 7, p. 687-694, 2009.
- NAKAZONO, E.M. *et al.* Crescimento inicial de *Euterpe edulis* Mart. em diferentes regimes de luz. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, p. 173-179, 2001.
- NULTSCH, W. **Botânica Geral**. Porto Alegre: Artmed, 560 p., 2001.

- POORTER, H. *et al.* Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. **New Phytologist**, London, p. 1-21, 2011.
- RABELO, R. G. *et al.* Structural and ecophysiological adaptations to Forest gaps. **Trees**, Heidelberg, v. 27, n. 1, p. 259-272. 2013.
- RODRÍGUEZ-CALCERRADA, J. *et al.* Leaf physiological versus morphological acclimation to high-light exposure at different stages of foliar development in oak. **Tree Physiology**, Oxford, v. 28, n. 5, p. 761-771, 2008.
- SABBI, L. B. C.; ÂNGELO, A. C.; BOEGER, M. R. Influência da luminosidade nos aspectos morfoanatômicos e fisiológicos de folhas de *Schinus terebinthifolius* Raddi (Anacardiaceae) implantadas em duas áreas com diferentes graus de sucessão, nas margens do Reservatório Iraí, Paraná, Brasil. **Iheringia: Série Botânica**, Porto Alegre, v. 65, n. 2, p. 171-181, 2010.
- SANTOS, F. C. *et al.* Plasticidade foliar de características anatômicas paradérmicas de genótipos de *Brachiaria ruziziensis* em diferentes épocas. *In: Anais do I Workshop sobre tolerância a estresses abióticos em plantas forrageiras*. 2013, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, Mato Grosso do Sul: Embrapa Gado de Corte, 2013.
- SCHMIDT, D. *et al.* Morfoanatomia foliar de azevém no sub-bosque de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais. **Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 4, p. 368-375, 2017.
- SILVA, L. R. **Alterações morfofisiológicas em feijoa (*Acca sellowiana*) sob diferentes níveis de sombreamento**. 2020. Dissertação - Área de Agronomia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, Paraná, 81 p. 2020.
- TAVARES, A. R. *et al.* Análise da epiderme foliar durante a aclimatização de bromélia ornamental cultivada in vitro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 33, p. 45-50, 2015.
- TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 888 p., 2017.
- TIAN, M. *et al.* Morphological and anatomical traits from tropical to temperate coniferous forests: Mechanisms and influencing factors. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 6, n. 1, e. 19703, 2016.
- VOLTOLINI, C. H.; SANTOS, M.; Variações na morfoanatomia foliar de *Aechmea lindenii* (E. Morren) Baker var. *lindenii* (Bromeliaceae) sob distintas condições ambientais. **Acta Botânica Brasileira**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 2-10, 2011.

Capítulo 6

Pastagens em sistemas agroflorestais

Braulio Otomar Caron
Jaqueline Sgarbossa
Claiton Nardini

6.1 Introdução

Os sistemas agroflorestais, por apresentarem uma estrutura complexa, demandam maior esforço e dedicação na compreensão e aplicação. Com isto não está se dizendo que o sistema tradicional de monocultivo não demande pensar, planejar e executar para se obter sucesso na exploração econômica. Trabalhar com Sistemas Agroflorestais (SAFs) demanda um esforço maior, pois a ciência e tecnologia dos dias atuais giram em torno de sistemas que privilegiam o monocultivo. Desta forma, é um sistema que necessita de muita informação técnica-científica para subsidiar a exploração das diferentes atividades, em diferentes níveis tecnológicos.

Para SAFs estas informações vêm sendo construídas ao longo do tempo de uma forma mais restrita e muitas vezes de forma mais particular, em função da dificuldade e de recursos destinados, e, sobretudo, pela desconfiança do elo final da cadeia em que os SAFs podem ser uma alternativa viável, para vários níveis tecnológicos e de sistemas produtivos. A escolha do componente arbóreo do sistema deve ser acompanhada do objetivo que se deseja do SAFs, bem como do sistema de exploração que se destinará, e ainda, não menos importante, as culturas que serão exploradas no sub-bosque. Neste contexto, o cultivo consorciado de culturas forrageiras com espécies florestais surge como uma alternativa promissora aos sistemas de produção.

Atualmente, inúmeras pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de analisar o desempenho, a qualidade e a viabilidade de diversas espécies forrageiras cultivadas em SAFs. Entre estas culturas pode-se destacar o capim marandu (*Urochloa brizantha*) (BARROS et al., 2019; DOMICIANO et al., 2020; NASCIMENTO et al., 2019; PEZZOPANE et al. 2019), braquiária comum (*Urochloa decumbens*) (BOSI et al., 2014; LOPES et al., 2017; MACHADO et al., 2020), aveia (*Avena* spp.) (DEISS et al. 2014a; DEISS et al., 2014b; DEISS et al., 2016; SGARBOSSA et al., 2020), azevém (*Lolium multiflorum*) (PILAU et al., 2015; SCHMIDT et al.; 2017; SOARES; BERNARDON; AIOLFI, 2016) e trigo duplo-propósito (*Triticum aestivum*) (CARON et al., 2019). É interessante destacar que a totalidade destas pesquisas foram desenvolvidas no Brasil, demonstrando a importância do tema a nível nacional.

A existência de um estrato superior de plantas (componente florestal) promove alterações nas condições micrometeorológicas do sistema, sobretudo ao que se refere ao perfil vertical de radiação solar (YANG et al., 2018). Por sua vez, a radiação solar é fonte primária de energia para o processo fotossintético, sendo assim, alterações na disponibilidade deste elemento acabam por modificar o padrão de resposta das culturas (BOSI et al., 2014; GOMES et al, 2020; PEZZOPANE et al., 2019; SANTOS et al., 2016; SANTOS et al., 2020; SCHMIDT et al., 2017; SGARBOSSA et al., 2020).

As modificações verificadas para as forrageiras que podem ser destacadas são o aumento na área foliar específica (BOSI et al., 2014; SCHMIDT et al., 2017), maior eficiência no uso da radiação solar (EUR) (CARON et al., 2019; SGARBOSSA et al., 2020), aumento no teor de proteína bruta (SGARBOSSA et al., 2020), redução no número de perfilhos (DE OLIVEIRA et al., 2020; PACIULLO et al., 2017), redução na produção de forragem (KIMURA

et al., 2018; RIGHI; FOLTRAN, 2018). No entanto, os benefícios associados ao cultivo de forrageiras em sistemas agroflorestais não se limitam somente ao desempenho das culturas, mas sim aos aspectos socioambientais envolvidos.

6.2 Aspectos relacionados ao desempenho de forrageiras em SAFs

O sucesso dos SAFs que envolvem produção de forrageiras depende basicamente da interação otimizada da densidade arbórea com o crescimento e a qualidade da pastagem no sub-bosque sombreado, em virtude das alterações provocadas pela redução na disponibilidade da radiação solar imposta pelas árvores, tanto em qualidade quanto em quantidade. De acordo com Lin *et al.* (1999), todas as plantas respondem fisiológica e morfológicamente à redução da radiação solar, e essa resposta está relacionada com a característica genética da espécie. Em geral, o rendimento de matéria seca das gramíneas forrageiras reduz tanto sob sombra artificial (LIN *et al.*, 1999; MASUDA, 1977) quanto sob sombra natural (SILVA, 1998).

O sucesso da espécie cultivada em SAFs está relacionado com a capacidade dela em manter ou reduzir o desempenho produtivo. Esta redução se inicia com a restrição à disponibilidade de radiação solar. Para Soares *et al.* (2009), plantas que se aclimatam ao sombreamento apresentam potencial para serem cultivadas nesta condição. Vieira *et al.* (2002) avaliaram os efeitos microclimáticos em dois níveis de sombreamento artificial, observaram que a temperatura do ar foi em média 2 e 3,2 °C inferiores nos tratamentos com 50 e 80% de sombra em relação ao pleno sol. Por outro lado, Kirchner *et al.* (2010) encontraram valores de 1,05 °C e 0,75 °C superiores em ambientes com 30 e 60% de restrição luminosa.

Questões devem ser colocadas para discussão em se tratando de cultivo de espécies anuais, sejam elas de inverno, verão ou forrageiras de ambas as estações. A primeira é saber se o sombreamento causado pela copa das árvores irá restringir o cultivo em sub-bosque, ou seja, com a alteração nos valores da radiação solar incidente será alterado também o balanço de energia, o qual irá alterar os demais elementos meteorológicos neste ambiente. Desse modo, torna-se necessário quantificar a radiação solar efetivamente transmitida para o sub-bosque, ambiente onde estarão as pastagens anuais e analisar se as quantidades disponíveis deste elemento serão suficientes para atender à demanda das culturas. Este primeiro conhecimento é fundamental, pois todo o processo fotossintético e produção de biomassa dependem da quantidade e qualidade da radiação incidente, mais especificamente radiação fotossinteticamente ativa.

Neste contexto, inúmeras pesquisas têm sido desenvolvidas com o intuito de analisar o uso de diferentes espécies florestais e arranjos agroflorestais, bem como o desempenho das culturas agrícolas como azevém (PILAU *et al.*, 2015; SCHMITD *et al.*, 2017), aveia (DEISS *et al.*, 2014a; DEISS *et al.*, 2014b; NICODEMO *et al.*, 2016; SGARBOSSA *et al.*, 2020) e trigo (CARON *et al.*, 2019; ZHANG *et al.*, 2013; YANG *et al.*, 2018;) quando conduzidas em sistemas agroflorestais.

Ao utilizar arranjos agroflorestais mais amplos, a quantidade de radiação solar interceptada pela copa das árvores é menor, resultando em maior disponibilidade deste elemento no interior do sub-bosque. Caron *et al.* (2019) analisando a dinâmica da radiação solar e o desempenho do trigo duplo propósito no sub-bosque de diferentes espécies florestais e sob dois arranjos de plantas (12 m x 3 m - faixa e 6 x 1,5 m - linha), verificaram que o uso de espaçamento mais amplo resultou em aumentos de 22% e 125% na transmissividade da radiação solar ao sub-bosque de canafístula e eucalipto, respectivamente. Resultados semelhantes foram observados por Pilau (2014), porém com a cultura do azevém. É interessante destacar que os estudos foram conduzidos na mesma área experimental, sob o mesmo arranjo agroflorestal, porém em diferentes safras agrícolas.

Outra estratégia que pode ser utilizada a fim de minimizar a interceptação da radiação solar pela copa das árvores é o uso de espécies florestais com menor tamanho de copa ou que sejam decíduas. Neste contexto, Sgarbossa *et al.* (2020) analisando a dinâmica da radiação solar e o desempenho da aveia-preta cultivado no sub-bosque de quatro espécies florestais, verificaram os maiores níveis de transmissividade no sub-bosque das espécies angico (76,8%), canafístula (62,5%) e guapuruvu (59,2%), em relação ao eucalipto (58,6%) (Figura 21). Os autores atribuem estes resultados às características intrínsecas das espécies florestais, as quais são decíduas e assim, durante o período do outono/inverno apresentam diminuição da área foliar.



Figura 21 - Crescimento da aveia-preta cultivada em sistemas agroflorestais, com distância entre os renques de árvores de 6 m. Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul, 2018.

Fonte: Jaqueline Sgarbossa.

Em estudo realizado por Stoskopf (1985), observou-se que a taxa de assimilação de CO_2 , na aveia aumentou de $35 \text{ mg CO}_2 \text{ g MS}^{-1}$, com 100% da iluminação solar, para $40 \text{ mgCO}_2 \text{ g MS}^{-1}$, com iluminação solar reduzida para apenas 30%. Esta afirmação nos traz um questionamento. Maiores assimilações de CO_2 necessariamente serão convertidas em maiores assimilações dos fotoassimilados e em maiores eficiências de conversão? A maior eficiência de conversão de uma planta necessariamente reverte em maior produtividade?

O acúmulo de biomassa de uma determinada cultura é influenciado pela capacidade da área foliar da planta em captar radiação solar e através do processo fotossintético, converter em biomassa. Nascimento *et al.* (2019) não verificaram redução na produção de forragem de capim-marandu cultivado no sub-bosque de *E. urograndis*, com redução de 21% na disponibilidade de RFA, em relação ao cultivo solteiro. Por sua vez, Domiciano *et al.* (2020) analisando a performance do capim-marandu em diferentes sistemas de cultivo, verificaram maior acúmulo de forragem, maior taxa de acúmulo de forragem, maior proporção de folhas e menor quantidade de material senescente, quando do consórcio com *E. urograndis* em relação ao cultivo solteiro. De maneira similar, Deiss *et al.* (2014b) analisando o crescimento da aveia-preta consorciada com o *Eucalyptus dunni* também verificaram reduções no crescimento da cultura, conforme a proximidade do renque de árvores, e conseqüente incremento no sombreamento, corroborando aos resultados obtidos por Deiss *et al.* (2016) e Deiss *et al.* (2014a). Os autores atribuíram estas respostas à limitação imposta pelas espécies florestais, que ao reduzirem a disponibilidade de radiação solar, também reduzem a taxa líquida da fotossíntese e a massa seca das plantas.

Neste contexto Caron *et al.* (2019), observaram que a baixa disponibilidade de radiação solar em ambientes sombreados afetou a produção do trigo sugerindo que plantas cultivadas em ambientes com sombreamento forte, reduzem o IAF e reduzem o desenvolvimento da cultura. Ainda, os autores observaram que os sistemas compostos por guapuruvu (6 m x 1,5 m) e canafístula (6 m x 1,5 m) foram semelhantes ao pleno sol em quase todo o ciclo, apresentando menores valores apenas nos três últimos pontos de avaliação, o que influenciou negativamente o enchimento de grãos e, conseqüentemente, na produtividade final da cultura. Isso é explicado devido à baixa incidência de radiação solar e IAF no momento do enchimento do grão nestes sistemas agroflorestais. De acordo com as informações apresentadas acima, a cultura do trigo duplo propósito demonstrou ser altamente plástica frente à alteração de seu ambiente de cultivo. Alterações no microclima de produção, principalmente fluxo de radiação solar, temperatura do ar e umidade relativa do ar causada pelo componente florestal, demonstraram forte importância às modificações do crescimento e desenvolvimento das plantas de trigo, quando mantidas sob sombreamento.

Por fim, a radiação solar é importante também na qualidade da produção de pastagens. Por exemplo, maiores níveis de sombreamento resultaram em aumentos nos teores de proteína bruta (PB) da aveia-preta (KIRCHNER *et al.*, 2010; SGARBOSSA *et al.*, 2020). Essas respostas estão relacionadas ao atraso do desenvolvimento ontogenético das plantas

cultivadas sob sombreamento, em relação às aquelas cultivadas sem restrição luminosa ou sobre níveis moderados de radiação solar (TIEDEMANN; KLEMMEDSON; OGDEN, 1971).

6.3 Considerações finais

Compreender a dinâmica da radiação solar é fundamental para a obtenção do sucesso produtivo em sistemas agroflorestais, isso se intensifica em regiões mais distantes da linha do equador, as quais apresentam em alguns períodos do ano menor disponibilidade deste elemento meteorológico. Sendo assim, deve-se considerar o uso de estratégias que visem mitigar o efeito da copa das árvores na interceptação da radiação solar durante o planejamento do sistema, a fim de gerar um equilíbrio entre as quantidades interceptadas e transmitidas ao interior do sub-bosque.

As culturas do azevém, aveia-preta e trigo duplo propósito conduzidas em SAFs podem ser consideradas como alternativa dentro de um sistema agrícola, buscando o desenvolvimento dele, favorecendo a autossuficiência. Traz como grande vantagem, o uso em áreas menos favorecidas ou prioritárias, além de serem utilizadas em consórcio e utilizando animais para pastejo direto ou mesmo realizar corte ou fenação.

Desta forma, o conhecimento de variáveis ecológicas das plantas é de fundamental importância em estudos com SAFs. As plantas crescem e desenvolvem em função de seu potencial genético, acrescido do meio em que ela se encontra. Conhecer o meio é de fundamental importância, pois a alteração promovida pela copa das árvores mudará a dinâmica da radiação solar, interferindo desta forma nos demais elementos meteorológicos.

6.4 Referências bibliográficas

- BARROS, J. S. *et al.* Valor nutritivo do capim-xaraés em três intensidades luminosas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 71, n. 5, p. 1703-1711, 2019.
- BOSI, C. *et al.* Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 6, p. 449-456, 2014.
- CARON, B. O. *et al.* Agroforestry systems and understory harvest management: the impact on growth and productivity of dual-purpose wheat. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 91, n. 4, p. 1-19, 2019.
- DE OLIVEIRA, G. L. *et al.* Effect of shading and canopy height on pasture of *Andropogon gayanus* in silvopastoral system. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 94, p. 953-962, 2020.
- DEISS, L. *et al.* Oat grain yield under nitrogen uses in an *Eucalyptus* intercropping system in Subtropical Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 3, p. 462-470, 2016.

- DEISS, L. *et al.* Oat growth under different nitrogen doses in eucalyptus alley cropping system in Subtropical Brazil. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 45, n. 5, p. 1014-1023, 2014b.
- DEISS, L. *et al.* Oat tillering and tiller traits under different nitrogen levels in an eucalyptus agroforestry system in Subtropical Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 1, p. 71-78, 2014a.
- DOMICIANO, L. F. *et al.* Agroforestry systems: an alternative to intensify forage-based livestock in the Brazilian Amazon. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 94, p. 1839-1849, 2020.
- 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**, Amsterdam, v. 115, p. 1- 11, 2020.
- KIMURA, E. *et al.* Effect of intercropping hybrid poplar and switchgrass on biomass yield, forage quality, and land use efficiency for bioenergy production. **Biomass and Bioenergy**, [S. l.], v. 111, p. 31-38, 2018.
- KIRCHNER, R. *et al.* Desempenho de forrageiras hibernais sob distintos níveis de luminosidade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 39, n. 11, p. 2371-2379, 2010.
- LIN, C. H. *et al.* Shade effects on forage crops with potential in temperate agroforestry practices. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 44, p. 109-119, 1999.
- LOPES, C. M. *et al.* Massa de forragem, composição morfológica e valor nutritivo de capim-braquiária submetido a níveis de sombreamento e fertilização. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 69, n. 1, p. 225-233, 2017.
- MACHADO, V. D. *et al.* Grazing management strategies for *Urochloa decumbens* (Stapf) R. Webster in a silvipastoral system under rotational stocking. **Grass and Forage Science**, [S. l.], v. 75, p. 266-278, 2020.
- MASUDA, Y. Comparisons of in vitro dry matter digestibility of forage oats grown under different temperatures and light intensities. **Journal of the Faculty of Agriculture - Kyushu University**, [S. l.], v. 21, p. 17-24, 1977.
- NASCIMENTO, H. L. B. *et al.* Physiological characteristics and forage accumulation of grazed Marandu palisade grass (*brachiaria brizantha*) growing in monoculture and in silvipastoral with *Eucalyptus urograndis*. **Crop Pasture Science**, [S. l.], v. 70, p. 384 - 394, 2019.
- NICODEMO, M. L. F. *et al.* Reducing competition in agroforestry systems by pruning native trees. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, p. 509-518, 2016.
- PACIULLO, D. S. *et al.* Morphogenesis, biomass and nutritive value of *Panicum maximum* under diferente shade levels and fertilizer nitrogen rates. **Grass and Forage Science**, [S. l.], v. 72, n. 3, p. 590-600, 2017.

- PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. **Agroforestry systems**, Amsterdam, v. 93, p. 39-49, 2019.
- PILAU, J. **Efeitos do sombreamento na produção de matéria seca, valor nutritivo, morfologia e anatomia de azevém em sistemas agroflorestais**. 2014. Dissertação - Área de Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria. Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, 96 p. 2014.
- PILAU, J. *et al.* Desenvolvimento e qualidade do azevém no sub-bosque de angico-vermelho em sistema silvipastoril. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 4, p. 437-444, 2015.
- RIGHI, C. A.; FOLTRAN, D. E. Broomcorn [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] responses to shade: an agroforestry system interface simulation. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 92, p. 693-704, 2018.
- SANTOS, A. R. M. Efeito do ambiente luminoso em forrageiras de clima tropical em sistemas silvipastoris. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 5, p. 633-642, 2020.
- SANTOS, D. C. Forage dry mass accumulation and structural characteristics of piatã grass in silvopastoral systems in the Brazilian savannah. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [S. l.], v. 233, p. 16-24, 2016.
- SCHMIDT, D. *et al.* Morfoanatomia foliar de azevém no sub-bosque de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 4, p. 368-375, 2017.
- SGARBOSSA, J. *et al.* Morphology, growth and yield of black oats cultivated in agroforestry systems in southern Brazil. **Agricultural Systems**, [S. l.], v. 184, p. 1-12, 2020.
- SILVA, J. L. S. **Produtividade de compontens de um sestema silvipastoril constituído por *Eucalyptus saligna* Smith e pastagens cultivada e nativa no Rio Grande do Sul**. 1998. Tese - Área de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 178p. 1998.
- SOARES, A. B. *et al.* Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 443-451, 2009.
- SOARES, A. B.; BERNARDON, A.; AIOLFI, R. B. Forage yield, rate of CO₂ assimilation, and quality of temperature anual forage species grown under artificial shading conditions. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 6, p. 1064-1069, 2016.
- STOSKOPF, N. C. **Cereal grain crops**. Ontario, Canada: Reston Publishing Company inc., 523 p., 1985.
- TIEDEMANN, A. R.; KLEMMEDSON, J. O.; OGDEN, P. R. Response of four perennial Southwestern grasses to shade. **Journal of Range Management Archives**, [S. l.], v. 24, p. 442-447, 1971.

- VARELLA, A. C. *et al.* Do light and alfalfa responses to cloth and slatted shade represent those measured under an agroforestry system? **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 81, p. 157-173, 2011.
- VIEIRA, A. R. R. *et al.* Resposta de pastagens naturalizadas a diferentes níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 265-271, 2002.
- YANG, T. *et al.* Effects of distance from a tree line on photosynthetic characteristics and yield of wheat in a jujube tree/wheat agroforestry system. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 93, p. 1545-1555, 2018.
- ZHANG, W. *et al.* Root distribution and interactions in jujube tree/wheat agroforestry system. **Agroforestry System**, Amsterdam, v. 87, p. 929-939, 2013.

Capítulo 7

Cultura da soja em sistemas agroflorestais

Elvis Felipe Elli
Jaqueline Sgarbossa

7.1 Importância da cultura da soja e principais alterações no sistema de cultivo

A soja é uma das principais culturas agrícolas difundidas no mundo, amplamente utilizada na alimentação humana e animal. A área de soja a nível mundial é de 122,647 milhões de hectares (ha), com produção de 337,298 milhões de toneladas de grãos (EMBRAPA, 2020), o que resulta em uma produtividade média de 2.750 kg ha⁻¹. O Brasil é um dos maiores produtores de soja no mundo, apresentando área plantada de 35,100 milhões de ha e produção de 116,966 milhões de toneladas de grãos, e produtividade média de 3.333 kg ha⁻¹. Conforme estimativas da Conab (2018), no Brasil, a soja movimenta uma receita bruta de 138,81 bilhões de reais. Os estados brasileiros que se destacam na produção da soja são Mato Grosso, Paraná e o Rio Grande do Sul.

Dentre as principais formas de cultivo, se destacam o plantio convencional e o plantio direto. O plantio convencional é caracterizado pela realização de práticas de aração e gradagem que provocam o revolvimento do solo. Já no sistema de plantio direto, são consideradas práticas conservacionistas, como: correção do solo, ausência de revolvimento, semeadura direta e rotação de culturas (CORDEIRO et al., 2015). No entanto, em ambas as formas de cultivo, a soja é conduzida de forma solteira.

O cultivo solteiro da soja (monocultivo) é uma prática consagrada no sistema de produção, sobretudo em função de alcançar elevados tetos produtivos. No entanto, as rápidas mudanças que ocorrem na agricultura, associada à demanda populacional por alimentos e energia, têm aumentado a necessidade de desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável. Neste sentido, surgem os sistemas agroflorestais (SAFs) como uma alternativa sustentável à produção, que visa ao equilíbrio entre a produção agrícola e florestal, reduzindo impactos negativos aos agroecossistemas existentes.

Os SAFs se caracterizam pelo cultivo simultâneo de espécies agrícolas e florestais em uma mesma área de produção. Esta coexistência de diferentes estratos de plantas promove diferentes interações na comunidade vegetal. O crescimento contínuo em altura, projeção da copa e índice de área foliar do componente arbóreo promove modificações na distribuição dos recursos naturais ao longo do tempo e do espaço (MÜLLER et al., 2014), sobretudo na dinâmica da radiação solar (ELLI et al., 2016) (Figura 22).

Quando conduzida sob condições de adequada disponibilidade hídrica e fertilização, a produção de biomassa das culturas é dependente das quantidades de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelas folhas e a eficiência destas em assimilarem e converterem a radiação solar pelo processo fotossintético (MONTEITH, 1977; VAN HEERDEN et al., 2010). A soja é uma espécie de metabolismo C3 e, devido às características metabólicas, possuem menor eficiência em converter radiação em fotoassimilados comparado a espécies C4. Assim, quando conduzida em sistemas agroflorestais pode apresentar modificações no crescimento, eficiência no uso da radiação solar e consequentemente, produtividade (ZHU; LONG; ORT, 2008).



Figura 22 - Crescimento da soja cultivada em sistemas agroflorestais, com distância entre os renques de árvores de 6 m. Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul, 2018. Observe o gradiente de radiação solar existente no sub-bosque das espécies arbóreas.

Fonte: Jaqueline Sgarbossa.

A produtividade da cultura da soja é influenciada por fatores determinantes, limitantes e redutores. A radiação solar é um fator determinante, que com a temperatura do ar, fotoperíodo, concentração de CO₂ e suas interações com as características da cultura (genótipo e população de plantas) define a produtividade potencial (máxima) da cultura da soja (SENTELHAS et al., 2015). Nesse contexto, a interceptação de radiação solar pelo componente arbóreo reduz a produtividade potencial da cultura, o que conseqüentemente afeta a produtividade atingível (limitada pela água) e real (influenciada pelo nível tecnológico adotado no sistema). Nesse sentido, no momento do planejamento e/ou implantação de um sistema agroflorestal com a cultura da soja, é imprescindível o levantamento de questões como: (i) qual espécie florestal deve ser selecionada para compor o sistema? (ii) Qual o arranjo de plantas a ser utilizado? (iii) Quando deve-se inserir a soja no sistema de produção?

7.2 Estudos já desenvolvidos envolvendo o uso da soja em SAFs

Estudos estão sendo desenvolvidos com o intuito de identificar o ideal arranjo de sistema agroflorestal, e a espécie florestal mais indicada para compor o sistema. Ao que se

refere à cultura da soja, pode se observar aumento no número de pesquisas desenvolvidas a fim de analisar o desempenho da soja em sistemas de produção consorciada (CARON et al., 2018; CRISTO et al., 2020; DIEL et al., 2014; FRANQUINI et al., 2014; GAO et al., 2010; GAO et al., 2013; PENG et al., 2009; SGARBOSSA et al., 2018; SGARBOSSA et al., 2020b; WERNER et al., 2017).

Ao ser cultivada no sub-bosque de duas espécies florestais (*Eucalyptus urograndis* e *Peltophorum dubium*) e em dois arranjos agroflorestais (6 m x 1,5 m e 12 m x 3 m) a soja apresentou redução de 71% no índice de área foliar (IAF) devido à utilização de arranjo menos espaçado, coincidindo com os maiores níveis de sombreamento (CRISTO et al., 2020) e indicando que as quantidades de radiação solar disponível ao sub-bosque neste arranjo foram limitantes à produção de área foliar. Em contraponto, os maiores valores de eficiência no uso da radiação solar (EUR) (3,45 g MJ⁻¹ e 2,51 g MJ⁻¹) foram obtidos sob os maiores níveis de sombreamento. No entanto, os autores destacam que estes resultados estão relacionados a maior capacidade destas plantas em converterem unidades de energia em biomassa produzida, mas sem resultar em maior produtividade.

Sgarbossa et al. (2020b) conduzindo a soja (safrinha) em consórcio com *E. urograndis* e *P. dubium* e em dois arranjos agroflorestais (6 m x 3 m e 12 m x 3 m), verificaram reduções nas taxas de crescimento da cultura e incrementos nas proporções e dimensões foliares, com o aumento nos níveis de sombreamento (Figura 23). Estudos têm demonstrado que incrementos nas proporções e dimensões foliares são estratégias desenvolvidas pelas plantas com o intuito de interceptarem e absorverem maiores quantidades de radiação solar, devido ao aumento na superfície foliar (BOSI et al., 2014; SCHMIDT et al., 2017). As alterações nas características de crescimento da cultura resultaram em menor EUR, com o aumento no sombreamento (SGARBOSSA et al., 2020b). Estes resultados estão relacionados à intensa redução na disponibilidade de radiação solar a qual as plantas foram submetidas, induzindo-as ao estresse, e impactando em capacidade limitada de converter energia em biomassa.

Por outro lado, Diel et al. (2014), por meio de experimentos envolvendo a soja em consórcio com o eucalipto e com distância entre renques de árvores de 30 m, verificaram respostas positivas da cultura nos dois primeiros anos de instalação da agrofloresta, quando comparado ao sistema solteiro. Resultados semelhantes foram obtidos por Franquini et al. (2014), cultivando a soja no sub-bosque do eucalipto, com 14 m de distância entre os renques de árvores. Os autores verificaram nos dois primeiros anos de instalação da agrofloresta produtividades de 3.120 kg ha⁻¹ e 3.300 kg ha⁻¹, respectivamente, sem diferir do cultivo solteiro. No entanto, para a terceira e a quarta safra foram verificadas reduções de 2,9% e 27% na produtividade da soja. Esses resultados estão relacionados a menor capacidade competitiva entre o componente arbóreo e a soja pelos recursos naturais, nos anos iniciais de implantação da agrofloresta.



Figura 23 - Demonstração do crescimento e desenvolvimento da soja cultivada em sistemas agroflorestais. Foram utilizadas plantas representativas de cada unidade amostral referida, sendo: (A) Cultivo solteiro; (B) Guapuruvú, (C) Canafístula, (D) Angico, (E) Eucalipto - Distância entre renques de 6m; (F) Eucalipto e (G) Canafístula - Distância entre renques de 12 m. Frederico Westphalen - Rio Grande do Sul, 2018.

Fonte Jaqueline Sgarbossa.

Como já mencionado, a existência de um estrato superior de plantas (componente arbóreo) promove redução na disponibilidade de radiação solar no interior do sub-bosque (CARON et al., 2018; CRISTO et al., 2020; SGARBOSSA et al., 2020b). Neste contexto Peng *et al.* (2009), analisando a produtividade da soja cultivada em sistemas agroflorestais, sob arranjo de 3 x 5 m (3 m entre as plantas na linha de plantio e 5 m entre renques), verificaram maiores produtividades nos locais com maior incidência de radiação solar, 2,5 m de distância do renque das árvores. Neste mesmo contexto, em estudo realizado por Gao *et al.* (2013), conduzindo a soja em sistemas agroflorestais, com distância entre renques de árvores 5 m, verificaram redução de 22,45 % e 11,95% na produtividade da cultura, nas distâncias das árvores de 0,5 m e 1,5 m, respectivamente. No entanto, não foram observadas reduções significativas a 2,5 m de distância.

Ao estudarem o desempenho produtivo, teor de proteína e óleo de quatro cultivares de soja, cultivadas em sistemas agroflorestais, e com distância entre renques de 28 m, Werner *et al.* (2017) observaram as melhores respostas produtivas nos pontos mais distantes das árvores (centro das parcelas). Isso não foi verificado para as características qualitativas dos grãos de soja, isto é, independente da proximidade aos renques de árvores, não houve efeito significativo sobre o teor de proteína e de óleo. Os autores atribuem estes resultados à reduzida disponibilidade de radiação solar nas proximidades das árvores e, como a soja é

uma espécie de metabolismo C3, e apresenta baixa capacidade fotossintética e alto ponto de compensação por luz, comparado a espécies de metabolismo C4, nesta condição, a mesma prioriza a produção de proteína e óleo no grão em detrimento da produtividade.

Além disso, deve-se considerar que cada planta possui uma demanda mínima de energia/radiação solar, para produzir fotoassimilados suficientes, para no mínimo, manter as estruturas já formadas, denominado limite trófico. O limite trófico médio das culturas agrícolas é de 8,4 MJ dia⁻¹ (FAGAN et al., 2010). Logo, do total de fotoassimilados produzidos durante a fotossíntese, uma fração é utilizada como substrato para a manutenção da integridade celular, e o restante utilizado para a síntese de componentes específicos e sua incorporação em estruturas celulares, resultando em incrementos de biomassa (MCCREE, 1974; THORNLEY, 1970).

Sendo assim, o aumento da biomassa vegetal é dependente das quantidades de fotoassimilados produzidos, das quantidades de substrato utilizadas nos processos de manutenção e da eficiência com que o substrato remanescente é convertido em biomassa (MACHADO; PEREIRA, 1990), bem como das quantidades do substrato remanescente que serão direcionadas para a produção de grãos e seus constituintes. Com base nessas informações pode-se inferir que em situações em que o fluxo médio de radiação solar incidente no sub-bosque for muito próximo ao limite trófico da cultura, as plantas podem apresentar reduzida atividade metabólica e conseqüentemente menor produtividade (SGARBOSSA et al., 2020b).

De maneira similar, Caron *et al.* (2018) estudaram a dinâmica da radiação solar e a produtividade da soja cultivada em diferentes arranjos de sistemas agroflorestais. Os arranjos foram 6 x 1,5m (espaçamento mais adensado) e 12 m x 3 m (espaçamento mais amplo), e as espécies florestais foram o eucalipto (*E. urograndis*) a canafístula (*P. dubium* Spr.), ambas com 7 anos de idade, respectivamente. Em dois anos de cultivo e sob regime de poda, os autores verificaram variações na reposta produtiva da cultura de acordo com a espécie florestal utilizada para compor o sistema e, em função da disponibilidade de radiação solar. Os autores também verificaram maior quantidade de radiação solar incidente ao interior do sub-bosque de ambas as espécies florestais devido à poda das árvores.

Ainda, Caron *et al.* (2018), ao analisarem a produtividade da soja entre os tratamentos (com poda e sem poda), observaram incrementos na produtividade em virtude da realização do regime de poda. Quando cultivada no sub-bosque da canafístula, a soja apresentou produtividade de 367,43 kg ha⁻¹ e 833 kg ha⁻¹, para os anos agrícolas 2013/2014 e 2014/2015, respectivamente. Respostas semelhantes foram obtidas no sub-bosque do eucalipto, onde foram verificadas produtividades de 260,81 kg ha⁻¹ e 509,14 kg ha⁻¹ para os anos agrícolas de 2013/2014 e 2014/2105, respectivamente.

Similarmente, Sgarbossa *et al.* (2018) realizaram experimentos com a soja no sub-bosque de cinco espécies florestais e observaram variações na resposta produtiva da cultura em função das características de copa das árvores e do regime de poda. Neste

estudo foi possível verificar que a poda das árvores resultou em incrementos de até 105,37% na produtividade da cultura. Interessante destacar que, mesmo com o regime de poda, as produtividades da soja no sub-bosque das espécies arbóreas nos trabalhos de Caron *et al.* (2018) e Sgarbossa *et al.* (2018) foram, consideravelmente, inferiores ao cultivo solteiro. Esse é um resultado importante, indicando que a soja deve ser priorizada nos primeiros anos de cultivo dos SAFs, uma vez que, nos referidos trabalhos, as espécies florestais estavam em idade adulta, o que possivelmente potencializou a capacidade competitiva destas, impactando de forma mais significativa sobre o rendimento da cultura da soja.

7.3 Estratégias silviculturais e de manejo para mitigar efeitos negativos do sombreamento sobre a produtividade da soja

Durante o planejamento, a implantação e a condução de um sistema agroflorestal alguns aspectos silviculturais e de manejo devem ser analisados. As características de copa e capacidade competitiva das espécies florestais devem ser levadas em consideração, pois de maneira direta podem influenciar na quantidade de radiação solar disponível no interior do sub-bosque. Outro aspecto extremamente importante no planejamento e instalação de uma agrofloresta é a distância entre os renques de árvores, pois este fator impacta diretamente na competição intra e interespecífica (entre indivíduos da mesma espécie e de espécies diferentes, respectivamente), bem como, na transmissão da radiação solar ao sub-bosque. Nesse sentido, podemos destacar as seguintes recomendações práticas:

a) Em cultivos adensados, ou com distância entre os renques de árvores inferior a seis metros, a soja deve entrar no plano de rotação de culturas nos dois primeiros anos de implantação da agrofloresta. Uma alternativa ao cultivo da soja em sistemas agroflorestais é a utilização de plantios florestais menos adensados, ou com distâncias maiores entre os renques de árvores. Desse modo, haverá maior disponibilidade de radiação solar ao interior do sub-bosque, bem como menor competição por outros recursos, como água e nutrientes.

b) Durante o planejamento de uma agrofloresta, devem ser consideradas as características das espécies florestais que serão utilizadas para compor o sistema, sobretudo no que se refere às características de copa. Além disso, deve ser dada preferência às espécies florestais que sejam caducifólias, uma vez possibilitam uma maior transmissão de radiação solar ao sub-bosque do SAFs, principalmente no inverno, onde quantidade de radiação solar é menor.

c) Durante a prática de semeadura da soja deve ser dada preferência à utilização de semeadora com discos, a fim de evitar danos ao sistema radicular das árvores, principalmente àquelas raízes mais superficiais, ou danificar a semeadora. Caso o produtor não possua esta flexibilidade, sugere-se a retirada das hastes das duas primeiras linhas da semeadora, a fim de evitar estes problemas, desde que isso não comprometa substancialmente a eficiência operacional durante a semeadura.

7.4 Considerações finais e futuros estudos

Com base nas informações apresentadas, pode-se inferir que a restrição por radiação solar reduz a produtividade da soja a patamares muito inferiores aos desejáveis. Porém, a viabilização do cultivo da soja em sistemas agroflorestais está associada à inserção da cultura nos anos iniciais de instalação de uma agrofloresta, período em que o componente florestal possui menor capacidade competitiva e de interceptação da radiação solar. Além disso, o uso de arranjos mais amplos, espécies florestais com características decíduas e regime de podas, são estratégias que visam aumentar as quantidades de radiação solar incidente no sub-bosque.

Caso estas observações não sejam consideradas no momento do planejamento dos sistemas agroflorestais, a viabilidade do cultivo da soja pode estar sendo comprometida. Nestas situações, deve-se optar pelo uso de culturas adaptadas a condições de sombreamento, como é o caso de algumas pastagens (GOMES et al., 2019; PEZZOPANE et al., 2019; PILAU et al., 2015; SGARBOSSA et al., 2020a), ou culturas que tenham apresentado respostas positivas como, por exemplo, o trigo (CARON et al., 2019; DUAN et al., 2019; YANG et al., 2019; ZHANG et al., 2014; ZAHNG et al., 2019).

Pesquisas adicionais devem ser realizadas em outras regiões brasileiras, preferencialmente com condições contrastantes de clima e solo, e com novas espécies florestais que possam satisfazer necessidades locais. O uso da modelagem mecanística da cultura da soja em SAFs também pode ser uma alternativa promissora para melhor avaliar os efeitos de diferentes regimes de manejo em SAFs sobre a produtividade da cultura. Battisti (2016) realizou uma robusta calibração e avaliação de diferentes modelos baseados em processos da soja em condições brasileiras, mas em condições de monocultivo.

O uso de modelos mecanísticos em SAFs é uma tarefa bastante desafiadora. Neste mesmo contexto, Bosi (2018) realizou um considerável progresso nessa linha de pesquisa, utilizando diferentes modelos para simular interações árvore-pastagem e desenvolver ferramentas para aprimorar tais simulações. Nesse sentido, o uso de modelos de simulação podem ser uma potencial ferramenta para avaliar a viabilidade da soja em SAFs, bem como para propor diferentes estratégias de manejo para mitigar impactos negativos no sistema de produção. Para tanto, novos estudos devem ser realizados na área.

7.5 Referências bibliográficas

BATTISTI, R. **Calibration, uncertainties and use of soybean crop simulation models for evaluating strategies to mitigate the effects of climate change in Southern Brazil**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 188 p. 2016.

- BOSI, C. *et al.* Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril productivity and biometric characteristics of signam, grass in a silvipastoral system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 6, p. 449-456, 2014.
- BOSI, C. **Parameterization and evaluation of mechanistic crop models for estimating *Urochloa brizantha* cv. BRS Piatã productivity under full sun and in silvopastoral system.** 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 158 p. 2018.
- CARON, B. O. *et al.* Agroforestry systems and understory harvest management: the impact on growth and productivity of dual-purpose wheat. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 91, n. 4, p. 1-19, 2019.
- CARON, B. O. *et al.* Dynamics of solar radiation and soybean yield in agroforestry systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 4, p. 3799-3812, 2018.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos - Safra 2017/2018 - Oitavo levantamento.** Brasília: Conab, 2018.
- CORDEIRO, L. A. M. *et al.* Integração lavoura-pecuária-floresta: estratégias para intensificação sustentável do uso do solo. **Cadernos de Ciências & Tecnologia**, Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 15-53, 2015.
- CRISTO, E. *et al.* Growth and yield of soybean cultivated in agroforestry systems. **Revista Ceres**, Viçosa, v.67, n.3, p. 165-175, 2020.
- DIEL, D. *et al.* Distribuição horizontal e vertical de fósforo em sistemas de cultivos exclusivos de soja e de integração lavoura-pecuária-floresta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 8, p. 639-647, 2014.
- DUAN, Z. P. *et al.* Interspecific interactions alters root morphology in young walnut/wheat agroforestry systems in northwest China. **Agroforestry systems**, Amsterdam, v. 93, n. 2, p. 419-434, 2019.
- ELLI, E. F. *et al.* Productive morphological and qualitative characteristics of sugarcane in the understory tree species in agroforestry systems. **African Journal of Agricultural Research**, [S. l.], v. 11, p. 1576-1584, 2016.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Soja em números (safra 2019/20).** Set. 2020. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 13 out. 2020.
- FAGAN, E. B. *et al.* Efeito da aplicação de piraclostrobina na taxa fotossintética, atividade da enzima nitrato redutase e produtividade de grãos de soja. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 771-777, 2010.

- FRANCHINI, J. C. *et al.* Yield of soybean, pasture and wood in integrated crop-livestock-forest system in Northwestern Paraná state, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 45, n. 5, p. 1006-1013, 2014.
- GAO, L. *et al.* Intercropping competition between apple trees and crops in agroforestry systems on the Loess Plateau of China. **Plos One**, [S. l.], v. 8, n. 7, p. 1-8, 2013.
- GAO, Y. *et al.* Distribution and use efficiency of photosynthetically active radiation in strip intercropping of maize and soybean. **Agronomy Journal**, [S. l.], v. 102, n. 4, p. 1149-1157, 2010.
- GOMES, F. J. *et al.* Shading effects on marandu palisadegrass in a silvipastoral system: plant morphological and physiological responses. **Agronomy Journal**, [S. l.], v. 111, p. 2332 - 2340, 2019.
- MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R. Respiração de crescimento e de manutenção na planta inteira, das raízes e da parte aérea em milho e arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 925-933, 1990.
- MCCREE, K. J. Equations for the rate of dark respiration of White clover and grain sorghum, as functions of dry weight, photosynthetic rate, and temperature. **Crop Science**, [S. l.], v. 14, p. 509-514, 1974.
- MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B Biological Sciences**, [S. l.], v. 281, n. 290, p. 277-294, 1977.
- MÜLLER, M. D. *et al.* Desenvolvimento vegetativo de pinhão-mansão em diferentes arranjos de plantio em sistemas agrosilvipastoris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 7, p. 506-514, 2014.
- PENG, X. *et al.* Photosynthesis, growth and yield of soybean and maize in a tree-based agroforestry intercropping system in the Loess Plateau. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 76, p. 569-577, 2009.
- PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Assessment of Piatã palisadegrass forage mass in integrated livestock production systems using a proximal canopy reflectance sensor. **European Journal of Agronomy**, [S. l.], v. 103, p. 130-139, 2019.
- PILAU, F. G. *et al.* Desenvolvimento e qualidade do azevém no sub-bosque de angico-vermelho em sistema silvipastoral. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 6, n. 4, p. 437-444, 2015.
- SCHMIDT, D. *et al.* Morfoanatomia foliar de azevém no sub-bosque de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 4, p. 368-375, 2017.
- SENTELHAS, P. C. *et al.* The soybean yield gap in Brazil - magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **The Journal of Agricultural Science**, v. 153, n. 8, p. 1394-1411, 2015.

- SGARBOSSA, J. *et al.* Agroforestry systems and their effects on the dynamics of solar radiation and soybean yield. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 9, n. 3, p. 492-502, 2018.
- SGARBOSSA, J. *et al.* Morphology, growth and yield of black oats cultivated in agroforestry systems in Southern Brazil. **Agricultural Systems**, [S. l.], v. 184, p. 1 - 12, 2020a.
- SGARBOSSA, J. *et al.* Bean-soybean succession under full sun and in agroforestry systems: Impacts on radiation use efficiency, growth and yield. **Journal of Agronomy and Crop Science**, [S. l.], v. 00, p. 1-16, 2020b.
- THORNLEY, J. H. M. Respiration, growth and maintenance in plants. **Nature**, v. 227, n. 5255, p. 304 - 305, 1970.
- VAN HEERDEN, P. D. R. *et al.* Biomass accumulation in sugarcane: unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. **Journal of Experimental Botany**, [S. l.], v. 61, n. 11, p. 2877-2887, 2010.
- WERNER, F. *et al.* Agronomic performance of soybean cultivars in an agroforestry system. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 47, n. 3, p. 279-285, 2017.
- YANG, T. *et al.* Effects of distance from a tree line on photosynthetic characteristics and yield of wheat in a jujube tree/wheat agroforestry system. **Agroforestry systems**, Amsterdam, v. 93, p. 1545-1555, 2019.
- ZHANG, W. *et al.* Different tree age affects light competition and yield in wheat grown as a companion crop in jujube-wheat agroforestry. **Agroforestry systems**, Amsterdam, v. 93, p. 653-664, 2019.
- ZHANG, W. *et al.* Temporal and spatial distribution of roots as affected by interspecific interactions in a Young walnut/wheat alley cropping system in Northwest China. **Agroforestry Systems**, Amsterdam, v. 89, p. 327 - 343, 2014.
- ZHU, X. G.; LONG, S. P.; ORT, D. R. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? **Current Opinion in Biotechnology**, [S. l.], v. 19, p. 153-159, 2008.

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.

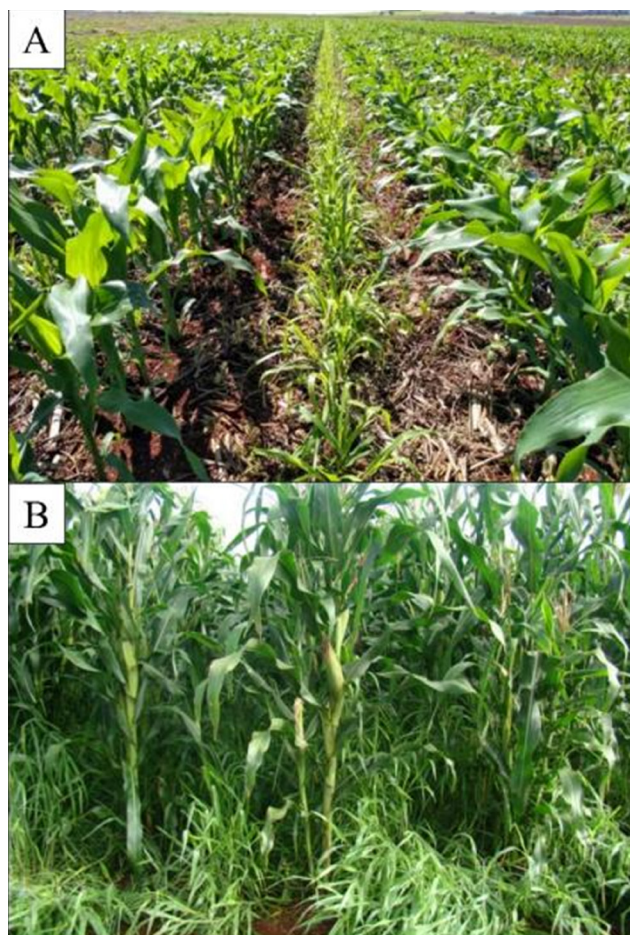


Figura 24 - Cultivo de milho em sistemas integrados com Brachiaria, sendo que A) representa a fase inicial de crescimento das culturas e B) período reprodutivo da cultura do milho.

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.

Capítulo 9

Sistemas agroflorestais e seus aspectos legais

Braulio Otomar Caron
Claiton Nardini

9.1 Histórico do Código Florestal

O Brasil, país conhecido por seu grande território florestal e seu potencial de produção nas áreas agrícolas e de florestas plantadas, teve seu primeiro Código Florestal constituído em 23 de janeiro de 1934, pelo Decreto n. 23.793 em meio à expansão da cultura do café que ocorria naquele período. Segundo Medeiro e Gomes (2019), o Código Florestal tinha como principal objetivo tentar preservar a vegetação nativa em propriedades privadas, pois o governo não teria como monitorar e fiscalizar todas as áreas de domínio público.

No Código Florestal de 1934, ainda não havia o conceito de Área de Preservação Permanente (APP). No entanto, Ribeiro (2011) ressalta que no Art. 4. referente às florestas protetoras já havia o princípio desse termo. Entretanto, na época visava-se somente à proteção de florestas e onde elas seriam inseridas, porém indiretamente, buscava-se proteger a vitalidade de um curso de rio e solos expostos que tenderiam a sua degradação e erosão. Desta forma, uma estaria ligada a outra, proporcionando a similaridade ao que hoje denominamos de APP.

O Código Florestal, de 1934, foi revogado em 15 de setembro de 1965, através da Lei n. 4.771/1965. O Código de 1965, editado no período da ditadura, em geral definia condutas, proibições, penalidades e incentivos para setores privados, dispondo dos recursos florestais de forma racional (CUNHA, 2019). O conceito de APP surgiu nesta versão do Código descrito no Art. 2. Já o termo Reserva Legal (RL), no seu texto original, ainda não estava presente, incluído somente em 18 de julho de 1989, pela Lei n. 7.803 e em uma Medida Provisória n° 2.166-67, de 2001.

A constituição de 5 de outubro de 1988, trouxe de modo claro no Capítulo VI o tema referente ao meio ambiente, especificadamente no seu Art. 225, que o consagraria como bem comum de todos, essencial a uma qualidade de vida sadia e um meio ambiente equilibrado. Ainda no Art. 5° inciso XXII, assegura o direito do uso da terra, possibilitando o produtor rural de realizar atividades econômicas. No entanto, o Art. 186, incisos I, II, III e IV previne que o uso das terras seja de forma racional e sua exploração favoreça o bem-estar dos proprietários e trabalhadores (BRASIL, 1988). Desta forma, a CF/1988, institui que nas normas nela descritas pode-se fazer do uso de terras para fins econômicos, sempre visando à preservação do meio ambiente para que futuras gerações possam usufruir dos recursos disponíveis. Nesse meio, o setor florestal e ambiental começou a ter uma visibilidade maior, facilitando assim abertura e criação de programas e leis que visam às readequações como as das APPs e RLs.

Em 2012, tivemos a revogação do Código de 1965, e a instituição do novo Código Florestal Lei Federal n° 12.651/2012, em vigência. Parte dessa evolução do novo Código Florestal vem de um acúmulo de estudos e conhecimentos de longa data, o qual a fez ser considerada uma das legislações mais completas do mundo e levando sempre em consideração o seu maior princípio, o de educar sobre o uso da terra de forma sustentável, citado no inciso III, Art. 1. Para isso, Santos e Nunes-Filho (2015) mencionam que o novo Código Florestal em seu alicerce teve como propósito flexibilizar as regras de instaurar as

RLs e APPs, principalmente para pequenos produtores. Ele ainda cita que o Código procura medidas mitigatórias e compensatórias, o qual é de grande valia na preservação ambiental e manutenção das atividades existentes em áreas consolidadas, em APPs.

Percebe-se, com este breve histórico do Código Florestal e da CF/88 do Brasil, que há uma ligação entre o uso das propriedades rurais e a cultura do povo ali inserido. O novo Código Florestal, Lei nº 12.651/2012, estabelece exploração florestal, suprimento de matéria-prima e prevendo o meio econômico para alcance dos objetivos, respeitando as normas de proteção da vegetação de APPs e RLs que são essenciais para os princípios vigentes no Art. 225. da CF/88. Por outro lado, podem interferir no direito de uso da terra tendendo a formação de conflitos (CUNHA, 2019).

9.2 Definição de Áreas de preservação permanente e Reservas Legais

No geral, APPs são faixas de vegetação estabelecidas por lei independente da propriedade rural ou urbana, em critério da topografia do terreno e ao logo de cursos de rios, nascentes, lagos, reservatórios de água, encostas ou parte delas com declividade superior a 45° e altitude superior a 1800 metros, sendo qualquer vegetação. A principal função está relacionada com a preservação dos recursos hídricos, da paisagem, da estabilidade geológica e da biodiversidade, bem como facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger e assegurar o bem-estar das populações humanas (Lei Federal nº 12.651/2012).

O Código Florestal prevê diferentes tipologias para cada tipo de APP, em função de cada área a ser preservada. A lei não apenas leva em consideração a conservação da APP, mas também de suas características, independentemente de sua localização. As seguintes regras estão expostas no Art. 4 em seus XI incisos, tendo como normas mínimas de 30 metros de vegetação para cursos de águas que tenham até 10 metros de largura; até 500 metros de vegetação para cursos de águas que tenha superior a 600 metros de largura; também estabelece um raio mínimo de 50 metros de vegetação em olhos de águas perenes.

A legislação também prevê que toda vegetação presente em APPs deverá ser mantida e preservada pelo proprietário ou possuidor da terra. No entanto, pode ocorrer intervenção ou a supressão dessa área em situações como utilidade pública, interesse social ou quando considerado uma atividade de baixo impacto ambiental conforme Art. 8.

Por outro lado a RL corresponde a uma área com cobertura de vegetação nativa que deve ser mantida de forma obrigatória e dimensão variável da área da propriedade rural e região que está situada. Seguindo com o mesmo princípio da APP, tem função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como, o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa.

Os percentuais mínimos de RL que cada propriedade rural deve manter de acordo com cada região do território brasileiro, que são: regiões localizadas na Amazônia Legal: 80% de sua área destinada para RL; Regiões localizadas no cerrado situado na Amazônia Legal: 35%

devem ser mantidos de RL; demais regiões do país: propriedades rurais devem destinar 20% de RL. O valor do percentual de RL somente será reduzido em imóveis localizados na Amazônia Legal, caso o Município tiver mais de 50% e o Estado tiver Zoneamento Ecológico-Econômico aprovado, e mais de 65% dos seus territórios ocupados por unidades de conservação da natureza de domínio público, devidamente regularizadas, e por terras indígenas homologadas.

Disposto nos Art. 21, 22 e 23, a RL deve ser conservada com cobertura de vegetação nativa pelo proprietário do imóvel rural ou possuidor. O manejo sustentável da vegetação florestal pode ser realizado por pequenos produtores, com ou sem propósito comercial, mediante a aprovação do órgão competente, sendo nas esferas municipal, estadual e federal, regulamentado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). O produtor rural ou possuidor da terra pode fazer da exploração de produtos florestais tais como, cipós, folhas, sementes e frutos em períodos de maturação, resinas, bambus, raízes e a condução de espécies exóticas. Referente à exploração nativa será somente liberada a retirada de 20 m³ ao ano previamente informado ao órgão ambiental.

9.3 Áreas consolidadas

Da área rural consolidada, ou seja, áreas com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris admitidas à adoção de regime de pousio conforme o inciso IV, Art. 3. da Lei Federal nº 12.651/2012. Essas áreas consolidadas estão previstas tanto em APPs quanto em RLs dispostos no Capítulo XIII, seções I, II e III (BRASIL, 2012).

Para áreas consolidadas em APPs, propriedades rurais que possuem ou não as áreas de uso exclusivo e a continuação de atividades como agrossilvipastoris, de ecoturismo e turismo rural, sendo obrigada sua recomposição. Ainda, a faixa de vegetação necessária de APP passou a ser estabelecida a partir de módulos fiscais sendo: para imóveis rurais com até 1 módulo fiscal será necessário a recomposição de 5 m, até 4 módulos fiscais que precisará recompor 30 m (Art 61), tornando mais flexivo ao produtor rural a recomposição dessas áreas quanto se levar a lei geral estabelecidas no início da implantação da lei.

As APPs, previstas no inciso VIII do art. 4º, dos imóveis rurais de até 4 módulos fiscais, que aderiram ao Programa de Regularização Ambiental (PRA), a partir de boas práticas agrônômicas e de conservação do solo e da água, mediante deliberação dos órgãos responsáveis equivalentes, a consolidação de outras atividades agrossilvipastoris. Também será admitida a manutenção de atividades florestais, culturas de espécies lenhosas, perenes ou de ciclo longo, bem como da infraestrutura física associada ao desenvolvimento de atividades agrossilvipastoris, vedada a conversão de novas áreas para uso alternativo do solo em áreas consolidadas em locais que tratam nos incisos V, VIII, IX e X do art. 4.

Das áreas consolidadas em RL, os proprietários ou possuidores de terras que detinham, em 22 de julho de 2008, área de Reserva Legal em extensão inferior a 20%, 35% e 80%

dependendo do local em que o imóvel está inserido, estabelecido no art. 12, poderão regularizar sua situação, independentemente da adesão ao PRA, devendo recompor a RL, permitir a regeneração natural da área de forma a compensar a RL e atender às normas e aos critérios estipulados pelos órgãos competentes. A sua recomposição poderá ser realizada com plantios intercalados de espécies nativas com exóticas ou frutíferas, em um Sistema Agroflorestal (SAF), não podendo exceder 50% de espécies exóticas. Esses proprietários que atenderem a essa forma de recomposição da RL conforme Art. 66. terão direito de exploração econômica.

9.4 A inserção dos sistemas agroflorestais em áreas protegidas

Vários trabalhos com SAFs vêm sendo realizados em diferentes locais do Brasil e do mundo. Todos eles, independentemente da extensão, têm na sua origem a preocupação em conservar o meio ambiente local através do uso de técnicas que favoreçam melhor o uso do solo, buscando a conservação da sua fertilidade, da sua estrutura, capacidade de retenção de água e por fim sistemas que busquem o equilíbrio entre a exploração econômica e a conservação do meio ambiente. Tais sistemas de produção têm características que estão de acordo com a legislação pátria, e por este motivo, podem ser utilizados em áreas de reserva legal e em alguns casos em áreas de preservação permanente.

Conforme demonstrado por Schwerz *et al.* (2018) em um SAF implementado no noroeste do Rio Grande do Sul, cultivando a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) houve uma redução na radiação solar incidente no sub-bosque, comparado ao sistema de monocultivo. Tais reduções variaram de 16,5% a 8,5% conforme a distribuição espacial das árvores nos sistemas estudados. Estas reduções influenciaram na produtividade dos sistemas em comparação ao monocultivo, no entanto, a produtividade alcançada foi semelhante à média de algumas regiões produtoras, tornando viável o cultivo da cultura até o quarto ano após a implantação do SAF.

Da mesma forma, cultivando milho (*Zea mays*) em duas safras sucessivas em diferentes arranjos espaciais de SAFs, Nardini *et al.* (2019) encontraram diferenças no crescimento da cultura. Para produtividade do milho, na safra 2016/2017, para os sistemas agroflorestais faixa (12m x 1,5m) com as espécies florestais canafístula (*Peltophorum dubim*) e eucalipto (*Eucalyptus urograndis*), foi obtida uma produtividade de 22,6% e 11,9% respectivamente, superiores à média do estado do Rio grande do Sul que segundo a EMATER/RS (2017), foi de 6.019,00 Kg/ha. Com a cultura do azevém (*Lolium multiflorum*) os aspectos morfológicos foram alterados, conforme citam Schmidt *et al.* (2017) em cultivo em SAFs, no entanto, o diferencial deste cultivo foi o aumento da proteína bruta no material vegetal.

Todos os estudos procuraram fornecer diferentes possibilidades de produção sustentáveis para os agricultores, a fim de aumentar a diversificação das propriedades rurais e preservar os agroecossistemas existentes. É importante que sejam realizadas pesquisas para estudar a implementação de sistemas agroflorestais em ecossistemas ameaçados, como APPs e RLs. É necessário estudar as respostas dessas áreas em relação

à preservação ambiental, manutenção da biodiversidade e retorno econômico dos sistemas agroflorestais, e fazê-lo enquanto se adapta à legislação ambiental moderna.

O Art. 67 é taxativo no seu texto que veda a supressão para uso alternativo do solo a propriedades rurais que detinham, em 22 de julho de 2008, área de até 4 módulos fiscais e que possuíam remanescentes de vegetação menores ao previsto no Art. 12 e os proprietários das terras que realizaram supressão de vegetação respeitando os percentuais de RL previsto na lei em vigor na época. Os proprietários estarão dispensados de fazer a recomposição ou compensação de percentuais exigidos na legislação atual.

Grandes mudanças vieram com o novo Código Florestal de 2012, quanto à regulamentação das questões ambientais nas propriedades rurais. O Cadastro Rural Ambiental (CAR) possibilitou também aos proprietários ou possuidores de imóveis rurais a aderir ao PRA, ou seja, se comprometer a apresentar propostas de recuperação do passivo ambiental de suas propriedades. O PRA deveria ser requerido em até 2 anos, disposto no § 4º do art. 29. do Código Florestal. Na regulamentação do PRA os órgãos responsáveis estabelecerão normas e após a assinatura do termo o proprietário se compromete a regularização do imóvel ficando suspensas as multas ou infrações cometidas anteriores a 22 de julho de 2008, se cumpridas as obrigações estabelecidas.

A partir das informações sobre APP e RL entre outras áreas de preservação percebe-se que suas funcionalidades são importantes na conservação da fauna e da flora, manutenção do ciclo da água, ciclagem de nutrientes e absorção de CO₂ da atmosfera. Assim sendo, é necessário fazer pesquisas que relacionam o SAFS nessas áreas. Exemplo: um agricultor vai combinar numa mesma área espécies para produção de madeira, frutíferas, forrageiras e culturas de grão dentro de uma APP ou RL. Esta combinação pode proporcionar um ecossistema parecido ao que seria anterior a intervenção antrópica, pois, ali estarão presentes polinizadores dessas plantas, a captura de carbono, a ciclagem de nutrientes e a produção de biomassa conseqüentemente, acarretando o uso da terra de forma sustentável gerando uma economia e produção de alimento. Assim, trabalhos de pesquisa como os citados no texto estão de acordo com o conceito de preservação contido nas definições de APP e RL.

É inevitável o crescimento na produção agrícola. Esta tem que vir acompanhada da conservação do meio ambiente dentro ou fora de áreas protegidas. A utilização de sistemas como SAFS podem somar esforços junto ao bom-senso dos produtores, ou seja, realizar plantios de forma correta bem como a aplicação de insumos e defensivos. É necessária também, uma mudança de paradigma por parte da população e, sobretudo, no contexto, dos atores envolvidos no setor primário de produção.

A legislação entanto, previne que somente poderá ser realizada a implantação de SAFs em APP e RL em formas de restauração dessas áreas, sendo permitido o uso somente apenas de algumas espécies por um período até que ocorra a restauração completa da área, sendo liberado somente para pequenos produtores, com até 4 módulos fiscais, a partir da autorização do órgão responsável. Entende-se também neste ponto que é necessário evoluir na forma da legislação vigente. Restringir o uso para as condições citadas seria uma forma de não incentivo

à utilização das técnicas apresentadas, pois há um custo de implantação e manutenção, bem como uma necessidade de exploração de forma racional do componente arbóreo.

Apesar de o uso de SAF ser permitido por lei, somente em pequenas escalas em áreas marginais como APP e RL, esse sistema em maiores proporções nas áreas protegidas ou consolidadas poderia se tornar uma alternativa para maiores propriedades, visto que o médio e o grande produtor visualizam essas áreas como “terras improdutivas” liberando o uso dela, para implantação de SAF, o que se tornaria um processo de uso do solo mais benéfico quando se refere aos seus processos biológicos.

Segundo Sagastuy e Krause, (2019), na realização de pesquisas com agricultores sobre o uso de SAFs, percebeu-se que os proprietários rurais vinculam melhorias na produção de alimento no consórcio com plantas perenes ou lenhosas, sendo que 89% dos consultados acreditam que trabalhar com sistemas integrados pode gerar mais renda ao comparado com agricultura convencional.

Além disso, Rodrigues *et al.* (2007) ressaltam que para evitar ou recuperar uma área de terra com distúrbio, é necessário adotar soluções econômicas como práticas agrícolas que possibilitam o agricultor a melhorar de vida ao mesmo tempo que preservem o meio ambiente. Desta forma os SAFs podem apresentar grande potencial para a solução desses problemas que é enfrentado na agricultura convencional e principalmente permitindo aos produtores rurais com retorno econômico e contribuem para a conservação de recursos naturais.

Visto que os SAFs podem ser uma estratégia importante na recuperação de áreas degradadas, a liberação de APPs e RLs para essa atividade visando à produção agrícola com iniciativa à Ecoagricultura, pode ser uma forma do uso do solo que leva em consideração os três pilares da sustentabilidade (social, ambiental e econômico), tornando mais viável a implementação pelo agricultor. A implantação de SAFs, segundo Paludo e Costabeber (2012), vem ocorrendo em diferentes regiões do país, demonstrando que o sistema proporciona uma alternativa de desenvolvimento do local e apresentam resultados satisfatórios quanto aos três pilares da sustentabilidade nesse sistema de produção. A partir disso, considera que possa ocorrer produção agrícola, bem como a conservação da biodiversidade em um mesmo ambiente.

O uso de SAFs é mencionado pelo novo Código em diversos Artigos, principalmente quando se referem às APP e RL. No entanto, apesar de uma série de situações de possível implantação desse sistema que é considerado pela legislação uma atividade de baixo impacto ambiental, falta ainda maior regulamentação sobre sua aplicação em áreas de APP e de RL, podendo trazer insegurança ao produtor rural para implantação desse sistema. Além disso, percebe-se que ainda ocorre uma deficiência de pesquisas avaliando a prática de SAF em áreas protegidas.

9.5 Referências bibliográficas

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 05 out. 2020.

- BRASIL. **Lei n. 12.651**, de 25 de maio de 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 05 out. 2020.
- CUNHA, P. R. A proteção da vegetação em terras particulares: um breve histórico do código florestal brasileiro. **Revista Direitos Fundamentais**, Jundiaí, v. 1, n. 1, p. 61-81, 2019.
- EMATER/RS. **Estimativa de Safra 2016-2017 por região administrativa Emater/RS-Ascar**. 2017. Disponível em: <http://www.emater.tche.br/site/info-agro/acompanhamento_safra.php>. Acesso em: 23 julho 2020.
- MEDEIROS, E. A.; GOMES, R. C. Coalizões de advocacia e estratégias de negociação na revisão do Código Florestal. **Revista de Administração Pública**, Rio de Janeiro, v. 53, n. 1, p. 1-22, 2019.
- NARDINI, C. *et al.* Growth and solar radiation use efficiency of corn cultivated in agroforestry systems. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, [S. l.], v. 31, n. 7, p. 535-543, 2019.
- RIBEIRO, G. V. B. A origem histórica do conceito de Área de Preservação Permanente no Brasil. **Revista Thema**, [S. l.], v. 8, n. 1, 2011.
- PALUDO R.; COSTABEBER, J. A. Sistemas agroflorestais como estratégia de desenvolvimento rural em diferentes biomas brasileiros. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [S. l.], v. 7, n. 2, p. 63-76, 2012.
- RODRIGUES, E. R. *et al.* Avaliação econômica de sistemas agroflorestais implantados para recuperação de reserva legal no Pontal do Paranapanema, São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 941-948, 2007.
- SANTOS, K. C. C.; NUNES-FILHO, M. S. Análise e interpretação das inovações advindas da lei 12.651/2012 que institui o novo código florestal. **Revista: CCCSS-Contribuciones a las Ciencias Sociales**, [S. l.], n. 2015-01, 2015.
- SCHMIDT, D. *et al.* Morfoanatomia foliar de azevém no sub-bosque de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais. **Revista ceres**, Viçosa, v. 64, p. 368-375, 2017.
- SCHWERZ, F. *et al.* Plant growth, radiation use efficiency and yield of sugarcane cultivated in agroforestry systems: An alternative for threatened ecosystems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 4, p. 3265-3283, 2018.
- SAGASTUY, M.; KRAUSE, T. Agroforestry as a biodiversity conservation tool and the motivations and limitations for small scale farmers to implement agroforest systems in the North-Eastern Atlantic forest biome in Brazil. **Sustainability**, Basel, v. 11, n. 24, p. 6932, 2019.

