

# Sistemas Agroflorestais: Resultados, aplicações e desafios

Felipe Schwerz  
Braulio Otomar Caron  
Elvis Felipe Elli  
Organizadores



# **Sistemas Agroflorestais: Resultados, aplicações e desafios**

Felipe Schwerz  
Braulio Otomar Caron  
Elvis Felipe Elli  
Organizadores

# Sistemas Agroflorestais: Resultados, aplicações e desafios



Lavras - MG  
2022

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

## UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

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

## CONSELHO EDITORIAL

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

## EXPEDIENTE EDITORA UFLA

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

Revisão de português: Aline Fernandes Melo

Referências: Trindade Monografias - Bibliotecária: Wilselände de Oliveira

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

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

Bibliografia.

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

CDD – 634.99

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



## EDITORA UFLA

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

## Organizadores



### **Felipe Schwerz**

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



### **Braulio Otomar Caron**

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



### **Elvis Felipe Elli**

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

## Autores

### **Claiton Nardini**

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

### **Daniele Cristina Fontana**

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

### **Denise Schmidt**

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

### **Elder Eloy**

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

### **Jaqueline Sgarbossa**

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

## Apresentação

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

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

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

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

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

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

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

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

## **Agradecimentos**

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

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

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

# Sumário

<b>1 Sistemas Agroflorestais: abordagem geral e aplicabilidade .....</b>	<b>10</b>
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
<b>2 Resultados e experiências alcançadas de um experimento de sistema agroflorestal no Rio Grande do Sul .....</b>	<b>20</b>
2.1 Resultados e desafios de um experimento de sistema agroflorestal .....	21
2.2 Experiências alcançadas por meio do sistema agroflorestal .....	25
<b>3 Arranjo de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais:</b>	
<b>Interações intra e interespecíficas .....</b>	<b>31</b>
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
<b>4 Radiação solar e sua interação multiestrato em sistema agroflorestal .....</b>	<b>41</b>
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
<b>5 Modificações anatômicas e fisiológicas de culturas presentes no sub-bosque em sistemas agroflorestais .....</b>	<b>53</b>
5.1 Introdução .....	54
5.2 Modificações anatômicas e fisiológicas nas folhas .....	55
5.3 Considerações finais .....	58
5.4 Referências bibliográficas .....	58
<b>6 Pastagens em sistemas agroflorestais .....</b>	<b>62</b>
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
<b>7 Cultura da soja em sistemas agroflorestais .....</b>	<b>71</b>
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
<b>8 O milho em sistemas integrados de produção: implicações práticas e produtivas .....</b>	<b>82</b>
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
<b>9 Sistemas Agroflorestais e seus aspectos legais .....</b>	<b>94</b>
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 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 ( $\lambda$ , 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).

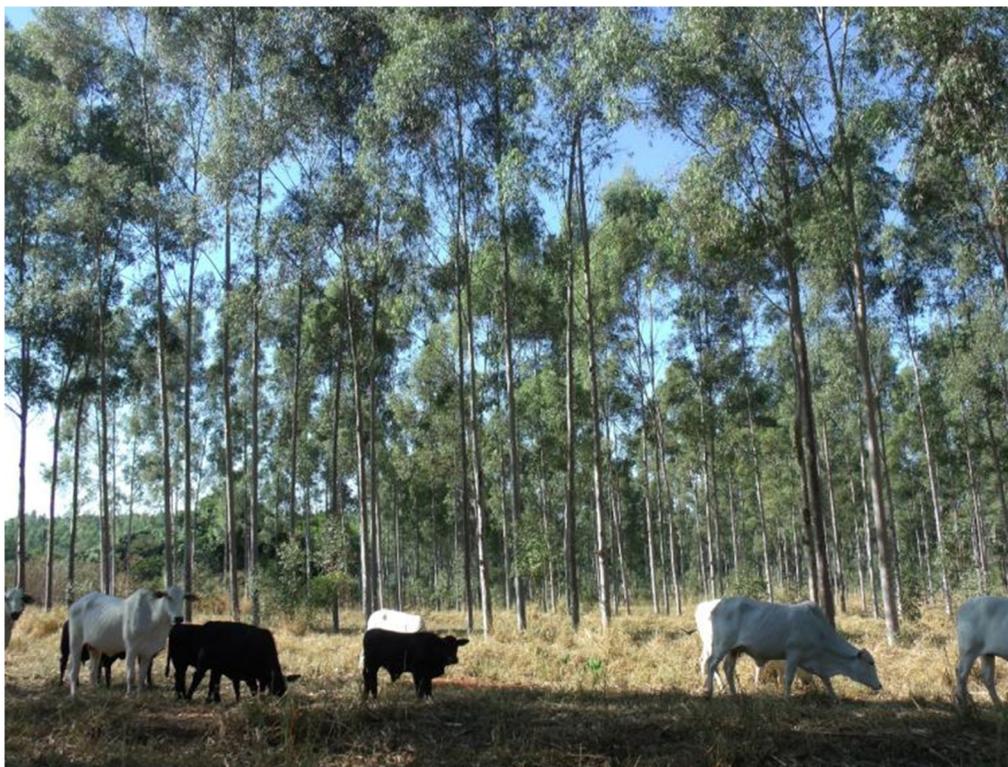
De acordo com Sinclair (1975) e Bernardes *et al.* (2000), grande parcela da energia disponível para as plantas está na forma de radiação difusa, que por ser multidirecional atinge mais facilmente o interior da copa e as partes inferiores do dossel. Neste sentido, no SAFs a radiação difusa assume um 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 understorey 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.