

WALTER STEENBOCK
FABIANE MACHADO VEZZANI
ILUSTRAÇÕES DE **CLAUDIO LEME**

AGROFLORESTA

**APRENDENDO A PRODUZIR
COM A NATUREZA**

**DOWNLOAD
GRÁTIS**



 **BAMBUAL**
editora

Por decisão dos autores e da editora, este livro está sendo distribuído gratuitamente em formato de arquivo eletrônico.

Esta distribuição gratuita não viola os direitos autorais dos autores e **toda e qualquer menção desta obra deve ser devidamente creditada** a eles, seguindo a legislação vigente em todo território brasileiro e mundo.

Caso você tenha interesse em **adquirir o livro físico**, acesse o site da Bambual Editora neste link: <https://bambualeditora.com.br/p/agrofloresta/>

Para qualquer dúvida, pedido de reprodução ou outras informações, entre em contato pelo e-mail conexao@bambualeditora.com.br ou pelo whatsapp +55 21 99648 0604

CURSO ONLINE

Tira Dúvidas com Autores

20 e 27 de janeiro de 2024 (sábados à tarde)

Comece a implementar sua agrofloresta e venha tirar suas dúvidas com eles!

[CLIQUE AQUI e faça sua inscrição!](#)

Turma com até 25 pessoas somente

**WALTER STEENBOCK
FABIANE MACHADO VEZZANI
ILUSTRAÇÕES DE CLAUDIO LEME**

AGROFLORESTA

**APRENDENDO A PRODUZIR
COM A NATUREZA**

**2ª EDIÇÃO
REVISTA E AMPLIADA**

Copyright © 2013 Walter Steenbock, Fabiane Machado Vezzani e Claudio Leme

2ª edição – revista e ampliada – 2023

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Isabel Valle

CAPA, ILUSTRAÇÕES E GRÁFICOS

Claudio Leme

ISBN 978-65-89138-49-5



www.bambuaeditora.com.br

conexao@bambuaeditora.com.br

Agradecemos aos agricultores e aos técnicos da Cooperafloresta, cujo grandioso conhecimento e valiosa prática tornam possível este texto. Em especial, ao Nelson Eduardo Corrêa Neto.

SOBRE NÓS



WALTER STEENBOCK

Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Recursos Genéticos Vegetais pela Universidade Federal de Santa Catarina. Analista ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Desenvolve pesquisas na área de sistemas agroflorestais e manejo de populações naturais de plantas. Email: walter.steenbock@icmbio.gov.br



FABIANE MACHADO VEZZANI

Engenheira Agrônoma, Mestre e Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professora do Departamento de Solos e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Atua na área de Manejo Ecológico do Solo e desenvolve pesquisas no tema Qualidade do Solo. Email: fabiane.vezzani@ufrgs.br



CLAUDIO LEME

Artista gráfico e músico. Atua na comunicação de projetos socioambientais e em atividades relacionadas à diversidade cultural e espiritual. Email: clauleme@yahoo.com.br

AO PUBLICAR ESTE LIVRO, a Bambual Editora reafirma sua essência tornando mais acessíveis conteúdos que ajudam o ser humano a fazer escolhas diferentes e transformar sua realidade.

Em tempos de transição global para outro patamar da consciência humana e de nossas relações sociais, com a necessidade premente de uma cultura regenerativa – que vá além da sustentabilidade e restauração socioambiental – os sistemas agroflorestais preenchem algumas de nossas necessidades mais urgentes: além de colocar os cultivos alimentares humanos ao lado das dinâmicas ecológicas, valoriza e utiliza processos ecológicos, otimiza a produção de alimentos e pode ser uma das soluções à crescente insegurança alimentar planetária que chegou ao número de 2,3 bilhões de pessoas segundo relatório da ONU de 2023.

Agroflorestas são processos múltiplos, conseqüentemente geram uma grande diversidade de sistemas produtivos, inseridos em contextos sociais e econômicos próprios, com produção de 15 a 40 toneladas de alimentos por hectare/ano, podendo chegar a 70 toneladas por hectare/ano em alguns casos (Steenbock, 2021).

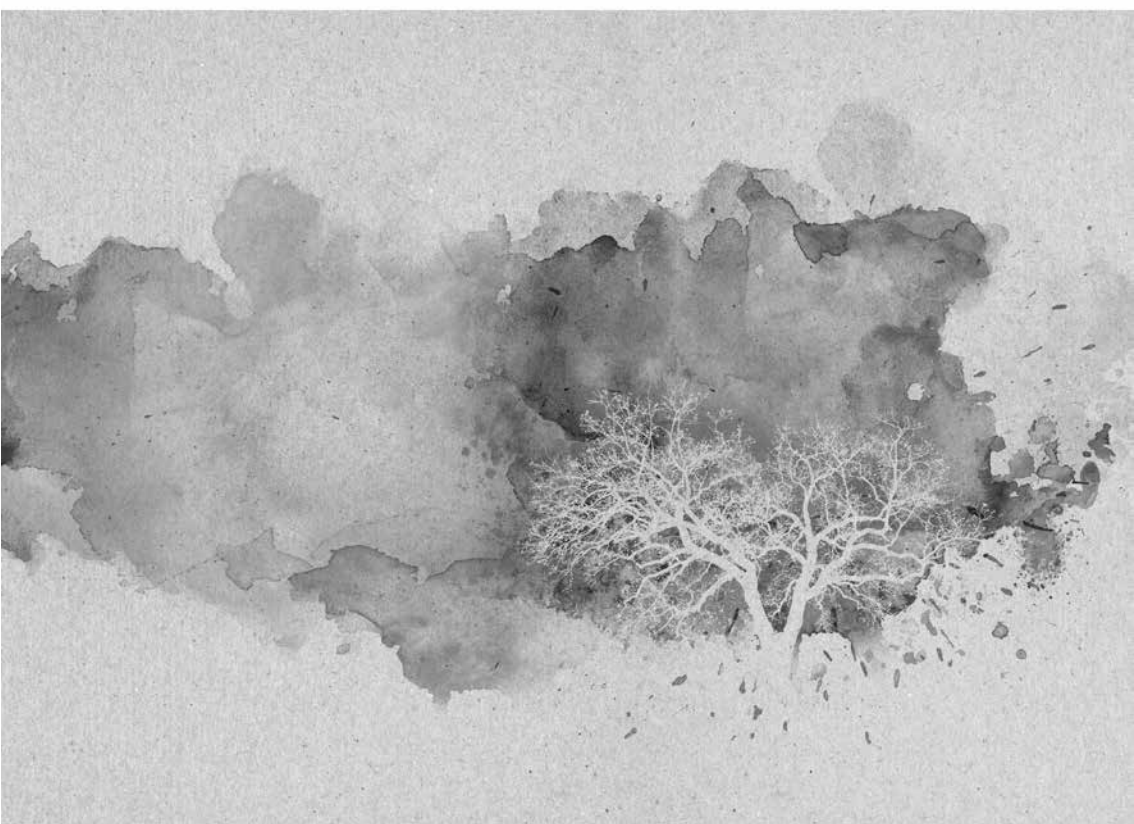
Mais do que uma técnica, a agrofloresta é uma proposta de cuidado ambiental e humano, e que faz um contraponto direto ao modelo predatório do agronegócio e sua monocultura de exportação. (Brasil de Fato, 2022)

Alegria imensa ver agroflorestas serem implantadas e manejadas em diversos biomas. No Brasil, em todos eles a agrofloresta acontece: Mata Atlântica, Pampa, Caatinga, Pantanal, Cerrado e Amazônia. Pelo mundo, temos notícias de sistemas agroflorestais em Portugal, Bolívia, Alemanha, Guiné-Bissau, Gana, México, Austrália, Chile, Argentina... e deve ter muito mais por aí. Conheço gente que faz agrofloresta no quintal de casa, na fazenda da família e até na varanda do apartamento.

Esperamos que com este livro mais e mais pessoas compreendam as dinâmicas agroflorestais e se motivem a praticá-las.

Bora?!

Isabel Valle
Bambual Editora



SUMÁRIO

Prefácio – ADILSON GONÇALVES BATISTA	11
Apresentação	13

PARTE 1

1. Sistemas vivos	19
1.1. Sistemas vivos possuem configuração na forma de rede	20
1.2. Sistemas vivos recebem fluxo de energia e matéria constantemente	21
1.3. Sistemas vivos se auto-organizam.	24
1.4. Sistemas vivos geram propriedades	27
1.5. Sistemas vivos são autogeradores	27
1.6. Sistemas agrícolas como sistemas vivos.	28
2. Sistemas agroflorestais são sistemas vivos	29
3. O papel da fotossíntese.	33
4. A busca pela eficiência fotossintética nos sistemas agroflorestais	40
5. Energia: fluxo e eficiência	43
6. Nutrientes: fluxo e eficiência	46
7. O papel da sucessão ecológica	48
7.1. Os Nichos Ecológicos e a Biodiversidade	48
7.2. A Sucessão Ecológica como manifestação de Nichos Ecológicos	50
7.3. Dinâmica entre Nichos Ecológicos e Sucessão Ecológica	54
8. O uso do conhecimento de sucessão ecológica na prática agroflorestal.	58
9. O solo como resultado da prática agroflorestal	62
9.1. Ação dos organismos do solo	62
9.2. Matéria Orgânica do Solo: produto da relação plantas- organismos	66
9.3. Funcionamento do sistema solo-planta-organismos	70
10. O manejo do solo agroflorestal.	75
11. Os caminhos da biodiversidade.	81
12. O manejo da biodiversidade em sistemas agroflorestais	87

PARTE 2

Linhas gerais para a prática agroflorestal	97
13. Identificação do espaço para a prática agroflorestal	98
13.1. Clima, relevo, solo	98
13.2. Vegetação em relação ao solo	98
13.3. Vegetação em relação ao relevo	100
13.4. Vegetação em relação ao histórico de uso da área	102
13.5. Diálogo com a natureza	103
14. Implantação de uma agrofloresta	104
14.1. Definir o tamanho da área a ser implantada	104
14.2. Disponibilidade de sementes e mudas adaptadas ao ambiente	104
14.3. Seleção de espécies a serem plantadas	106
14.4. Planejamento do plantio de todas as espécies ao mesmo tempo	108
14.5. Preparo da Área: Capina Seletiva	109
14.6. Definição dos locais para implantação dos canteiros agroflorestais	111
14.7. Formação dos canteiros agroflorestais	112
14.8. Planejamento do plantio dos canteiros agroflorestais	116
14.9. Plantio dos canteiros agroflorestais	119
14.10. Plantio entre-canteiros agroflorestais	120
14.11. Finalização da implantação da agrofloresta	123
15. Manejo Inicial	125
15.1. Manejo do capim e dos adubos verdes	125
15.2. Manejo das espécies de ciclo curto	127
15.3. Manejo da capina seletiva	128
16. Manejo de agroflorestas maduras	130
16.1. Primeiro passo: capina seletiva	130
16.2. Segundo passo: podas	131
16.2.1. Poda de estratificação	133
16.2.2. Poda de frutificação	135
16.2.3. Poda de sucessão	136
16.2.4. Cuidados na poda	137
16.3. Terceiro passo: completar as agroflorestas	138
17. Renovação da agrofloresta	140
18. Referências Bibliográficas	142

PREFÁCIO

Na agricultura que era praticada pelos nossos pais, avós e bisavós, na tecnologia que nos foi ensinada, nos foi dito que roçar a mata, a capoeira, derrubar, queimar e plantar estava correto. E isso deu muito certo durante anos. Com tal tecnologia sabíamos lidar com o manejo da terra, das culturas que havia, da época certa de plantar e colher, de guardar as sementeiras para o próximo ano... apesar de não ser mais a tecnologia adequada para os dias de hoje, ela nos ensinou muita coisa boa.

Quando ocorreu a nossa transição agroecológica, que gosto de chamar de transição agroflorestal, foi num momento que aquela tecnologia “antiga” já não fazia mais sentido de continuar praticando. Pegou-se então o que era de interessante e adaptou-se dentro de uma nova prática. Desde os primeiros mutirões da Cooperafloresta que aconteceram na comunidade da Areia Branca, lá em agosto de 2006, pôde-se observar a importância da “nova roça”... imaginem que uma simples oficina de agrofloresta uniu pessoas que não se juntavam há um tempo, pessoas começaram a conhecer outras pessoas, de comunidade vizinha, de outros municípios, de outros estados, até de outros países. Qual seria a probabilidade de isso acontecer se fosse continuado a praticar roça de coivara? Seria muito pequena, para não dizer nenhuma.

Entre os próprios agricultores foram acontecendo as trocas de conhecimento, com diferentes tipos de abordagem para falar do tema “sistema agroflorestal”. Com tanta experiência em agricultura que cada um carrega, era sucesso garantido. De lá pra cá, foram inúmeras as tentativas de melhorar as roças, de melhorar o manejo, de aumentar e facilitar a colheita e principalmente de tornar a agrofloresta uma tecnologia de fácil entendimento e de poder ser replicada com mais facilidade.

Dito isso, muitos dos agricultores agrofloresteiros da comunidade Areia Branca foram instrumentos de difusão, divulgação e experimentadores de novos arranjos. Nesse contexto, foi onde me achei como pro-

pagador de agrofloresta também, assim como muitos outros, levando a agrofloresta adiante, pois tem muita gente ainda que precisa conhecer e experimentar essa possibilidade de trabalhar com agricultura que regenera, que trás vida, que trás diversidade e ainda trás alegria para quem a pratica.

Agora que vem o questionamento: como podemos melhorar essa dispersão, espalhar o conceito, como faremos para chegar nessas pessoas que precisam mudar essa forma de agricultura que já não é mais bem vinda, bem vista, não é funcional nos dias de hoje? Estamos na era da modinha de ser sustentável, sustentabilidade, eco daqui eco de lá, agricultura verde, e tantos outros nomes que aparecem diariamente e que acabam confundindo quem realmente precisa aprender. Muitas vezes essas “novidades” acabam sufocando e tornando o agricultor desacreditado.

Espero seguir contribuindo, e que possamos em breve ter mais e mais gente nessa luta, que mais pessoas sejam os disseminadores dessa ferramenta, dessa tecnologia. Essa é a esperança, também, desse livro.

Adilson Gonçalves Batista

Agricultor Agrofloresteiro da Areia Branca

APRESENTAÇÃO

Em uma definição ampla, sistemas agroflorestais (SAFs) são combinações do elemento arbóreo com espécies herbáceas e/ou animais, organizados no espaço e/ou no tempo.

A legislação brasileira, em diferentes instrumentos legais (Brasil, 2009; Brasil, 2011), tem definido sistemas agroflorestais como “sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, forrageiras em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes”.

Quando caracterizados pela alta diversidade de espécies e pela ocupação vertical de diversos estratos, os sistemas agroflorestais são comumente chamados, na literatura, de sistemas agroflorestais multiestrata (Angel-Pérez & Mendoza, 2004; Benjamin et al., 2001; Caja-Giron & Sinclair, 2001; Staver et al., 2001; Granados, 2005; Silveira, 2005; Holguin et al., 2007) biodiversos ou sucessionais, pois essa estrutura muitas vezes é direcionada pelos princípios da sucessão ecológica.

Muito embora diferentes definições de sistemas agroflorestais caracterizem estas áreas, de forma genérica, como consórcios entre árvores, culturas agrícolas e por vezes, criações de animais, é relevante destacar, nestes sistemas, o cuidado com o manejo da luminosidade, da produtividade primária, da sucessão ecológica, da ciclagem de nutrientes e das relações ecológicas.

Em outras palavras, mais do que identificar os componentes de uma agrofloresta – árvores, culturas agrícolas e animais –, é importante caracterizar quais intervenções ou práticas de manejo fazem a conexão entre eles, e qual a finalidade e a intenção da configuração entre os componentes na estrutura produtiva construída.

Na agrofloresta, o foco é potencializar os processos ecológicos para a otimização da produção, tanto das espécies de interesse quanto da biodiversidade como um todo. Processos ecológicos desejáveis são captação de recursos (luz, água, nutrientes), produção de matéria vegetal, decomposição de resíduos, ciclagem de nutrientes, autorregulação de populações. Existe, então, uma diferença em relação à agricultura convencional. Esta caracteriza-se pela artificialização das condições do meio para a germinação, o crescimento e a produção das espécies de interesse. É justamente nessa diferença de orientação do processo produtivo que as agroflorestas potencializam processos ecológicos ao invés de potencializar o crescimento de apenas uma espécie. A prática agroflorestal pode contribuir para a forma de produzir alimentos, medicinais, fibras e madeiras que conserva os bens naturais e promova a autorregulação dos fatores do meio (água, solo, ar) junto com organismos, promovendo a manutenção da produção ao longo do tempo, em um contexto que as pessoas fazem parte das relações do meio.

Para Götsch (1995), “os sistemas agroflorestais, conduzidos sob o fundamento agroecológico, transcendem qualquer modelo pronto e sugerem sustentabilidade por partir de conceitos básicos fundamentais, aproveitando os conhecimentos locais e desenhando sistemas adaptados para o potencial natural do lugar”. A partir dessa definição, Götsch (1995) propõe que “uma intervenção é sustentável se o balanço de energia complexificada e de vida é positivo, tanto no subsistema em que essa intervenção foi realizada quanto no sistema inteiro, isto é, no macrorganismo planeta Terra; sustentabilidade mesmo só será alcançada quando tivermos agroecossistemas parecidos na sua forma, estrutura e dinâmica ao ecossistema natural e original do lugar da intervenção (...)”.

Esta concepção se mescla ao pensamento contemporâneo de conservação ambiental, que vem assumindo cada vez mais a importância do uso regenerativo da biodiversidade como paradigma e, neste paradigma, o envolvimento da dinâmica da biodiversidade associada à dinâmica do uso humano. Cada vez mais se concebe o uso dos bens da natureza de forma integrativa aos fluxos naturais, aquele em que se exerce a contribuição com os processos ecológicos, no rumo crescente da conexão, da troca e do aumento de biodiversidade e de produtividade.

A concepção geológica, climática, biogeográfica, evolutiva e ecológicamente dinâmica da biodiversidade indica que, mais que a preservação das espécies ou comunidades de forma isolada, o objetivo central da conservação biológica é possibilitar a continuidade dos processos evolutivos e ecológicos (Pickett & Rozzi, 2000). Richard Primack, um dos mais expoentes representantes da biologia da conservação atual, em conjunto com outros colegas, descreve que, se pensarmos metaforicamente que a vida é como a música e esperarmos que a música siga vibrando, então não devemos pretender guardar os instrumentos musicais em vitrines e evitar que sejam tocados por seres humanos, mas sim devemos estimular que os músicos possam tocar delicadamente as cordas em um quarteto, reverberar os tambores e respirar com as flautas, mantendo o movimento musical adequado ao tempo. É com essa perspectiva que se promoverá a biodiversidade em nível de genes, populações, espécies, comunidades biológicas, ecossistemas e regiões (Rozzi et al., 2001). Fazer agrofloresta, nesta metáfora, é perceber e tocar a música.

A prática agroflorestal envolve perceber e entender como os processos vitais, os ciclos biogeoquímicos e as relações ecológicas estão acontecendo, identificando como potencializá-los para o aumento da biodiversidade, da fertilidade e da produtividade e naquele espaço.

Essa identificação deve recorrer, sem dúvida, ao uso de conhecimentos acumulados, tanto a partir da construção acadêmica quanto a partir da prática produtiva – ou seja, do conhecimento científico e do saber ecológico local. Mas, essa identificação envolve também, com igual importância, o “perguntar” ao ambiente o que ele está fazendo no rumo do incremento de fertilidade e biodiversidade do sistema. Assim, fazer agrofloresta consiste em trazer as ferramentas do conhecimento para utilizá-las nos processos naturais daquele espaço, naquele momento, em um movimento constante e balanceado entre percepção e prática. Em outras palavras, fazer agrofloresta é manter um diálogo constante com o ambiente natural, conversando com seus processos e relações, perguntando o que é mais adequado ao seu fluxo. E, neste diálogo, o ser humano, ao trazer sua contribuição a este fluxo, recebe dele a produção de alimentos, medicinais e fibras. Assim, fazer agrofloresta é, também, educar-se ambientalmente, pois

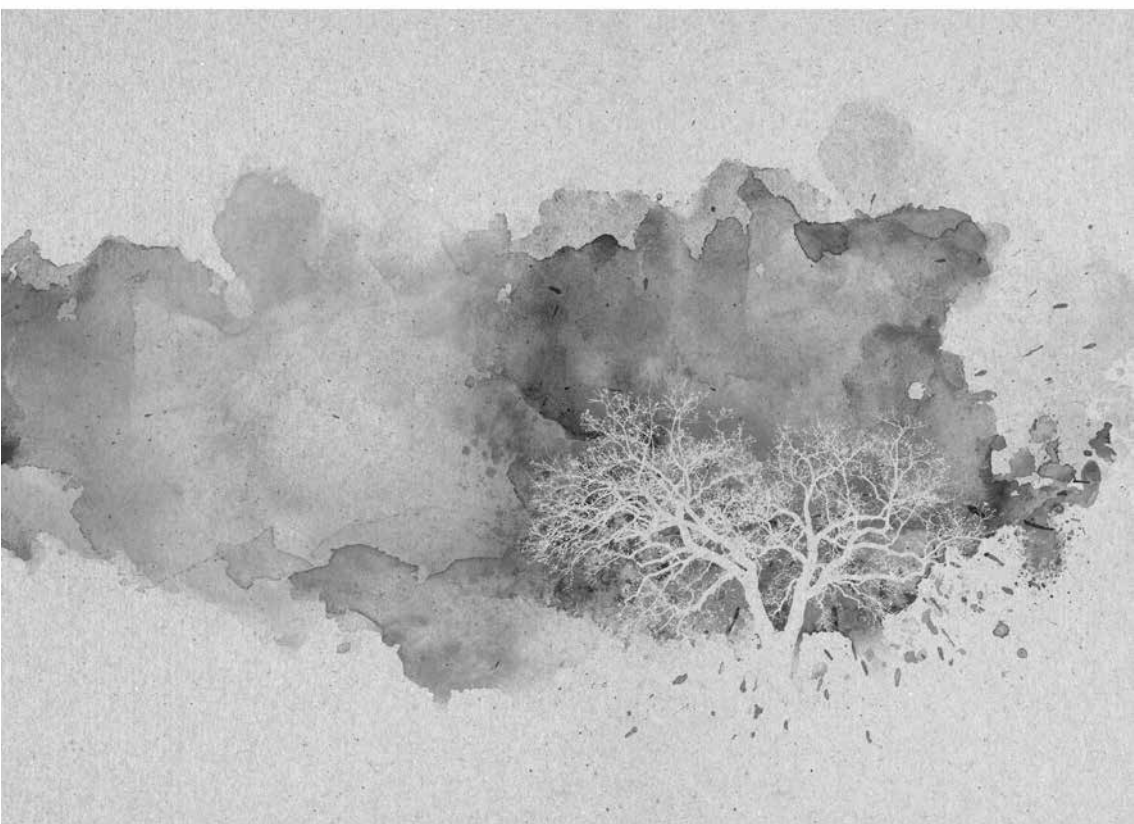
aprende-se a reconhecer os fatores do meio e o que necessitam para o seu pleno funcionamento. Nessa relação humano-ambiente transformadora, é possível construir lugares saudavelmente produtivos.

Este livro traz alguns conceitos de ecologia e sua prática agroflorestal. Não se baseia em hipóteses sobre a aplicação desses conceitos, mas principalmente sobre sua aplicabilidade, a partir das experiências de agricultores familiares associados à Cooperafloresta – Associação de Agricultores Agroflorestais de Barra do Turvo (SP) e Adrianópolis (PR). Há quase três décadas, agricultores e técnicos destes municípios, no Alto Vale do Rio Ribeira, entre Paraná e São Paulo, vêm produzindo alimentos em conjunto com o incremento de biodiversidade, de fertilidade sistêmica e de conservação do solo, de autonomia e de segurança alimentar, por meio da agrofloresta. Nessa região, mais de uma centena de famílias têm na prática agroflorestal sua opção de produção e continuação familiar, demonstrando, assim, que este é um caminho viável.

Na primeira parte deste livro, apresentamos e discutimos conceitos ecológicos de forma contextualizada com a prática agroflorestal. Na segunda parte, descrevemos, brevemente, como as famílias agricultoras da Cooperafloresta têm feito isso, a partir de observações e projetos de pesquisa realizados na região entre os anos de 2009 e 2015 (que se tornaram a base da publicação da primeira edição deste livro, em 2013).

Longe da pretensão de detalhar profundamente os conceitos, e mais longe ainda de descrever todos os aspectos relacionados à prática agroflorestal, nosso propósito é que este livro, por meio de um texto mais simples e menos técnico, possa ajudar estudantes, agricultores e professores a utilizarem a agrofloresta como caminho, ou como música.

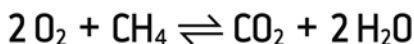
PARTE 1



1. SISTEMAS VIVOS

Os sistemas de produção agrícola, como os sistemas agroflorestais, são sistemas vivos. Assim, o entendimento das características e princípios dos sistemas vivos é fundamental para a compreensão do funcionamento dos sistemas de produção agrícola.

A Teoria de Gaia representa claramente o funcionamento dos sistemas vivos. Essa teoria foi elaborada na década dos anos 60. Nesta época, o químico James Lovelock colaborava no projeto de Pesquisa Lunar e Planetária do Laboratório de Propulsão a Jato em Pasadena, na Califórnia (USA). Um dos objetivos do projeto era descobrir se havia vida no planeta Marte. Para isso, ao analisar como os seres vivos da Terra funcionavam, Lovelock percebeu que toda a forma de vida extrai energia e matéria do ambiente e descarta subprodutos dessa atividade. O subproduto das plantas, dos animais e dos microrganismos são gases, como gás carbônico [CO₂], metano [CH₄] e oxigênio [O₂]. Então, ele fez uma análise da atmosfera dos planetas Terra e Marte. O estudo indicou que havia uma alta concentração dos gases oxigênio e metano e uma baixa concentração do gás carbônico na atmosfera da Terra, se comparado à composição provável da atmosfera de Marte. Esta composição é quimicamente inesperada, considerando a lei de alta interação entre os gases oxigênio e metano, formando gás carbônico e água, conforme reação abaixo:



A análise da atmosfera de Marte, por sua vez, informou o oposto: baixa concentração dos gases oxigênio e metano e alta concentração de gás carbônico, ou seja, de acordo com o equilíbrio químico e sem interferência biológica.

Nesse momento, Lovelock convidou a bióloga Lynn Margulis, que já vinha estudando as relações de simbiose e endossimbiose e seus efeitos

na evolução dos seres vivos, para interpretar os resultados dessa pesquisa. Juntos, concluíram que a diferença entre as atmosferas dos dois planetas é justamente a existência de vida na Terra! Vale ressaltar aqui, “vida” na concepção que nós, seres humanos, temos até o momento. De qualquer forma, a atmosfera da Terra é uma mistura instável de gases. Acontece que os gases O_2 , CO_2 , CH_4 dentre outros são continuamente liberados como subprodutos dos seres vivos e, à medida que são liberados, vão reagindo entre si. A proporção desses gases na atmosfera é condição para que os seres vivos na Terra existam; se fosse outra proporção, muito provavelmente, seriam outras espécies e formas de seres vivos que habitariam o nosso planeta. Sendo assim, na Terra, a concentração dos gases se mantém, em função dos seres vivos e, ao mesmo tempo, esta concentração é fundamental à continuidade da vida e evolução destas espécies.

A Teoria de Gaia, de Lovelock e Margulis, diz que a vida é resultado das condições do meio que é produzido pelos sistemas vivos, em interação com os componentes não vivos. A vida é resultado da própria vida!

Em outras palavras, a vida no planeta Terra é uma rede de relações complexas e essa rede é o meio adequado para a existência da vida. Como afirmaram James Lovelock e Lynn Margulis: “A evolução dos organismos se encontra tão intimamente articulada com a evolução do seu ambiente físico e químico, que juntas constituem um único processo evolutivo, que é autorregulador” (Lovelock, 2006). A biosfera é, portanto, o conjunto de sistemas vivos em diferentes escalas e ecossistemas, nos quais os sistemas agrícolas e sistemas agroflorestais fazem parte, todos autorreguladores.

Os sistemas vivos são fechados quanto à sua organização e abertos em relação à energia e à matéria, fazendo uso de um fluxo constante para produzir, reparar e perpetuar a si mesmos; e operam num estado distante do equilíbrio termodinâmico, um estado em que novas estruturas e novas formas de organização podem surgir espontaneamente, o que conduz ao desenvolvimento e à evolução (Capra e Luisi, 2014).

1.1. Sistemas vivos possuem configuração na forma de rede

Em relação ao aspecto dos sistemas vivos serem fechados quanto à sua organização, pensemos o seguinte: desde a célula até os peixes, os pássaros, os bovinos, as árvores... todos os organismos vivos possuem um limite físico. E, dentro desse limite físico, há uma organização espe-

cífica de seus componentes, que o caracteriza como uma célula, um peixe, um bovino, uma árvore. O que acontece é que essa organização dos componentes é comum a todos, em um padrão de rede em que todos os componentes estão interligados, em relações complexas e não lineares. Se observarmos atentamente, percebemos que o padrão de rede se repete em todo o mundo vivo. Já em 1950, Bertalanffy afirmou, na sua Teoria Geral dos Sistemas, que “o padrão em rede é comum a todas as formas de vida” (von Bertalanffy, 1950).

Na Figura 1, observamos que uma rede de moléculas constitui uma célula. Uma rede de células constitui um organismo. Uma rede de organismos constitui um ecossistema. São redes dentro de redes. E nessa organização é que se forma a “rede alimentar” do planeta

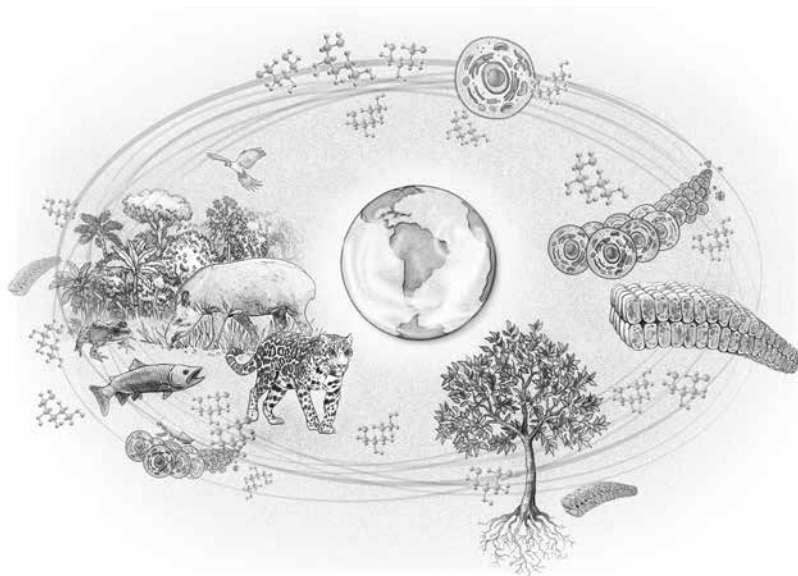


Figura 1. Representação esquemática do padrão de rede no espectro de moléculas a organismos superiores.

1.2. Sistemas vivos recebem fluxo de energia e matéria constantemente

Os organismos, para se manterem vivos, precisam alimentar-se de um fluxo contínuo de energia e matéria assimiladas do ambiente. E é desta

forma que os sistemas vivos são abertos, do ponto de vista energético e material, fazendo uso de um fluxo constante de energia e matéria para produzir, reparar e perpetuar a si mesmos. Todos os organismos vivos produzem dejetos continuamente e esse fluxo de energia e matéria (nutrição e excreção) estabelece o lugar que eles ocupam na rede alimentar. Dito de outra forma, nesse fluxo, o que cada um absorve e libera define seu lugar na rede alimentar, como mostra a Figura 2. Nesse sentido, Capra (2005) afirmou: “Os limites entre esses sistemas não são limites de separação, mas limites de identidade; todos os sistemas vivos comunicam-se uns com os outros e partilham seus recursos, transpondo limites”. Neste sentido, a comunicação é essencial à vida. Capra e Luisi (2014) ressaltam a importância das relações para esta comunicação. Como cada componente de um sistema possui relações internas e, a partir delas, está conectado aos demais sistemas no ecossistema, o fluxo de energia e matéria percorre essas relações e estabelece justamente esta comunicação. E, em um ecossistema, as trocas de energia e matéria são sustentadas por uma cooperação generalizada (Capra, 2005).

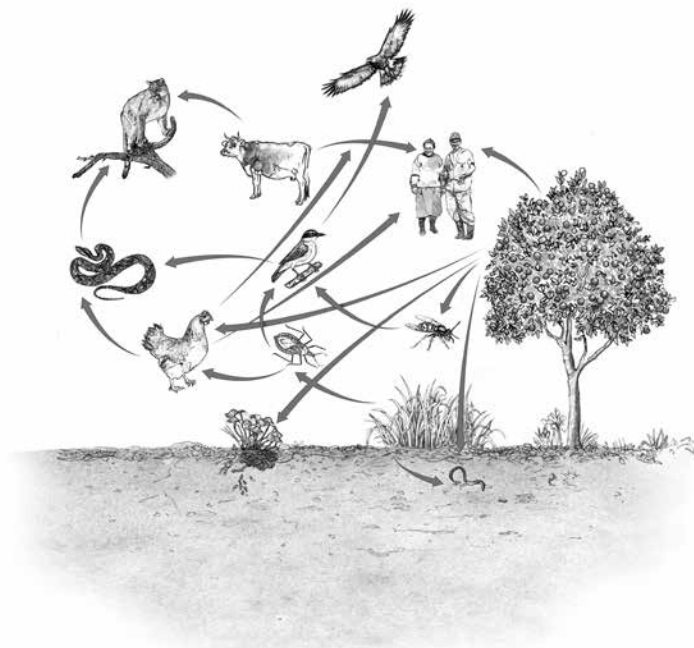


Figura 2. Representação esquemática de uma rede alimentar.

O fluxo constante de energia e matéria que caracteriza os sistemas vivos faz com que estes sistemas estejam sempre longe do equilíbrio termodinâmico. Relembrando a termodinâmica clássica, os sistemas são classificados em:

- isolados: aqueles que não trocam energia nem matéria com o meio;
- fechados: aqueles que trocam energia, mas não trocam matéria com o meio; e os
- abertos: que trocam energia e matéria com o meio.

A definição de “equilíbrio” de um sistema tem origem na termodinâmica clássica e significa o ponto de mínima produção de energia livre que um sistema fechado alcança. Observe a Figura 3, que representa a energia livre (chamada de energia livre de Gibbs) de uma reação química, que é caracteristicamente um sistema fechado na termodinâmica clássica, entre dois reagentes. A energia livre era máxima no início da reação, no tempo 1 (t_1 , na Figura 3) no momento de os reagentes serem misturados, e atingiu um valor mínimo, quando todo o produto foi formado (tempo 2, t_2 na Figura 3). Esse momento de mínima energia livre que a reação química atingiu é o ponto de “equilíbrio”, momento em que toda a quantidade de reagentes adicionada reagiu e produziu os produtos da reação química. A partir do ponto de equilíbrio, a reação cessa. Portanto, o equilíbrio termodinâmico é um estado característico de sistemas fechados, no qual o sistema como uma reação química, após receber uma quantidade de energia e matéria, tende para um estado estacionário, onde não ocorrem mais alterações nas concentrações dos reagentes nem dos produtos.

No caso dos sistemas vivos, o equilíbrio termodinâmico nunca é atingido, pois estes são sistemas abertos que recebem, continuamente, um fluxo de energia e matéria. Como ocorre a entrada de energia e matéria incessantemente, como se fosse uma adição constante de reagentes em uma reação química, o equilíbrio não pode ser atingido, pois a energia não atinge valor mínimo. Aqui, é importante lembrar que, enquanto houver sol emitindo energia para a biosfera e seres autótrofos adicionando essa energia por meio da fotossíntese (para a produção de alimentos que sustentam as redes alimentares), o potencial de aumento de complexidade das relações entre os componentes dos sistemas vivos terrestres estará sempre presente.

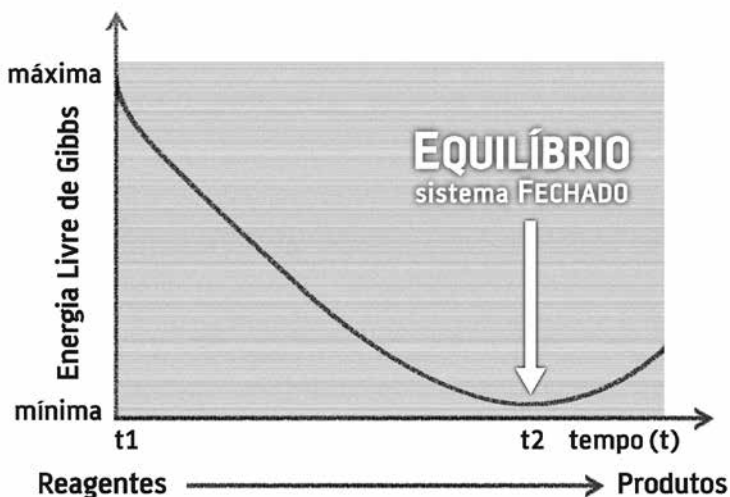


Figura 3. Representação esquemática da variação da energia livre de Gibbs durante a reação entre reagentes (no tempo t_1) transformando em produtos (no tempo t_2) e indicando o ponto de “equilíbrio” em sistema fechado (uma reação química). Fonte: adaptado de Russel (1994).

1.3. Sistemas vivos se auto-organizam

Como sistemas abertos, os sistemas vivos operam num estado distante do equilíbrio termodinâmico. É por estarem em condição de não equilíbrio que os sistemas vivos têm capacidade de se auto-organizar e produzir novas estruturas e novas formas de organização, desenvolvendo-se e evoluindo. A auto-organização ocorre porque os sistemas são configurados no padrão de rede de relações, as quais possuem um vínculo de causa. Se observarmos a Figura 4, proposta por Capra (1996) para representar a configuração dos sistemas abertos, os círculos representam o limite físico dos componentes de um determinado sistema, e as linhas retas representam as relações. O autor representou o limite dos componentes com linhas tracejadas para enfatizar que os limites físicos não têm tanta importância; o que importa são as relações dentro e entre eles. Interessante notar que os próprios componentes são o resultado de uma rede de relações, e é através das relações internas que os componentes estão interligados. São as “redes dentro de redes”, como chamou Capra (1996).

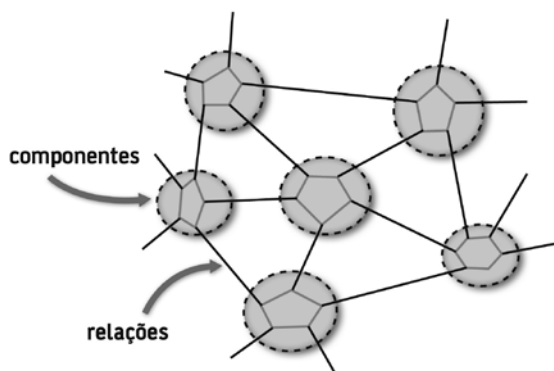


Figura 4. Configuração de um sistema aberto. Círculos com linhas tracejadas representam os componentes; linhas contínuas no tom cinza, as relações dentro dos componentes; linhas contínuas pretas, as relações entre os componentes.

Fonte: adaptado de Capra (1996).

Por causa dessa interligação entre os componentes, qualquer atividade em algum ponto desse sistema gera reflexos, ou seja, as reações à esta atividade irão percorrer toda a rede de relações (como mostram as setas na Figura 5), por meio do fluxo de energia e matéria que se altera em decorrência dessa ação/atividade. E, assim, o sistema irá se auto-organizar em função dessa nova atividade.

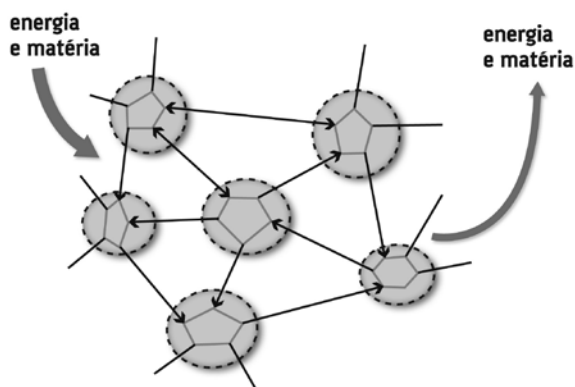


Figura 5. Representação esquemática da configuração do padrão de rede de um sistema aberto, indicando a passagem do fluxo de energia e matéria. Fonte: adaptado de Capra (1996).

Num primeiro momento, a energia e a matéria recebidas e percorridas pelo sistema dissipam-se entre a rede de relações e causam uma instabilidade até que as relações se auto-organizam em outro estado de organização. A Figura 6 mostra esse processo. Se a magnitude do fluxo de energia e matéria que passa através das relações não lineares dos componentes aumenta, emergem espontaneamente novas estruturas e formas de comportamento em níveis energéticos sucessivamente mais elevados, que se caracterizam pela crescente diversidade e complexidade da estrutura e de suas formas de comportamento, resultado de relações complexas entre os componentes e da alta quantidade de energia e matéria retidas. O sistema tende ao desenvolvimento. Por outro lado, a alteração do fluxo pode gerar decomposição quando a magnitude de energia e matéria que passa pelo sistema diminui e, através da corrente de relações não lineares entre os componentes, um novo estado de organização emerge, porém com menor quantidade de energia e matéria retidas. Quando isso ocorre, o fluxo resulta em estados de organização com níveis energéticos sucessivamente mais baixos, simplificando suas estruturas e formas de comportamento. O sistema tende à decomposição (Vezzani & Mielniczuk, 2011).

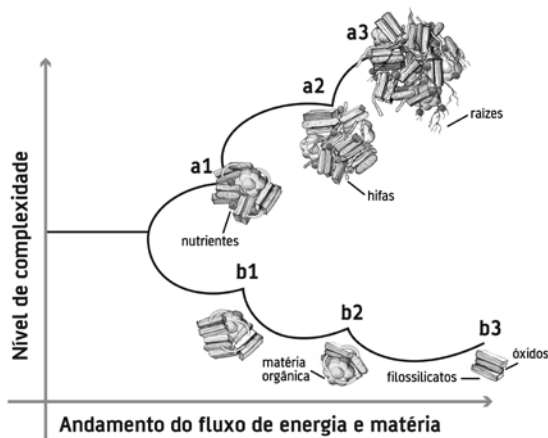


Figura 6. Representação esquemática do caminho seguido pelo sistema (linha contínua preta, que se auto-organiza em estados de organização (indicados por letras e números) em diferentes níveis de complexidade a partir do fluxo de energia e matéria.

Essa representação também ilustra o comportamento do sistema solo-plantas-organismos, onde partículas minerais, matéria orgânica e raízes formam agregados de estruturas cada vez mais complexas (estado de organização “a3”) ou cada vez mais simples (estado de organização “b3”), conforme será detalhado adiante (Figura 20).

Fonte: em analogia a Prigogine (1996).

1.4. Sistemas vivos geram propriedades emergentes

Em cada estado de organização nos distintos níveis de complexidade, surgem as propriedades emergentes. As propriedades emergentes do sistema são a manifestação das relações não lineares entre os componentes que compõem cada estado de organização. À medida que aumenta o nível de complexidade, a estrutura se torna mais diversificada e complexa, e maior quantidade de energia e matéria é retida, conforme vimos na Figura 6 o estado de organização “a3”. O aumento no número de componentes do sistema gera aumento nas relações não lineares, o que irá refletir no aumento de suas propriedades emergentes. Portanto, em nível de complexidade alto, as propriedades emergentes são em maior número, tornando o sistema mais funcional em situações diversas e, dessa forma, mantendo sua integridade frente a perturbações. Por outro lado, nos sistemas de estrutura mais simples (estado “b3” na Figura 6), o número e a função das propriedades emergentes são baixos, e o sistema tem menor capacidade de manter sua integridade.

1.5. Sistemas vivos são autogeradores

Entendendo esses três aspectos do funcionamento dos sistemas vivos – fechados na organização; abertos ao fluxo; e capacidade de auto-organização –, compreendemos a definição de Prigogine que afirma que os sistemas vivos são Estruturas Dissipativas (Prigogine, 1996; 2002; Prigogine & Stengers, 1992; 1997), porque a mesma energia que dissipa o sistema (aquela que passa pela rede de relações não lineares através do fluxo) é a energia que gera organização. A “ordem” e a “desordem” estão constantemente presentes nos sistemas vivos, gerando desenvolvimento ou decomposição.

Portanto, as redes vivas criam ou recriam a si mesmas continuamente mediante a transformação ou a substituição de seus componentes (Capra, 2005). Este processo auto-organizador, em que cada componente ajuda a transformar e a substituir seus próprios componentes, é autogerador ou autocriador (Capra & Luisi, 2014), definido por Maturana & Varela (2001) como autopoiese. Os sistemas vivos sofrem mudanças estruturais contínuas ao mesmo tempo em que preservam seus padrões de organização em redes de relações e constituem-se a si mesmos. A característica de

autopoiese dos sistemas vivos é o que os difere claramente dos sistemas não vivos, ou seja, os sistemas vivos têm a capacidade de se tornarem mais complexos, a partir de múltiplas propriedades emergentes.

Por isso, o fenômeno da vida tem de ser compreendido como uma propriedade do sistema como um todo (Capra, 2005). A vida só existe pelo resultado das relações entre seus componentes, cada um executando sua função, o que permite que os demais componentes se mantenham ativos também. E essa característica extrapola para a relação do sistema vivo com o meio. O meio é resultado das relações com os sistemas vivos, e os sistemas vivos são resultados das relações com o meio, como nos dizem Lovelock e Margulis na Teoria de Gaia (Lovelock, 2006).

1.6. Sistemas agrícolas como sistemas vivos

Nos sistemas de produção agrícola, o desafio é planejar a configuração dos componentes produtivos na forma de rede. Quanto mais conectados estiverem no sentido de produção conjunta e/ou aproveitamento de resíduos, maior capacidade de auto-organização, resultando em maior resiliência e maior complexidade, devido ao processo autorregulador. Agroflorestas complexas, constituídas de muitos componentes produtivos conectados, são exemplos típicos de sistemas produtivos baseados na configuração em rede e funcionamento dos sistemas vivos.

2. SISTEMAS AGROFLORESTAIS SÃO SISTEMAS VIVOS

Os sistemas vivos organizados nos vários ecossistemas e comunidades são consequência de um longo processo evolutivo, orientado pelo aprendizado e pela troca entre os seres vivos. Nesse processo, as estruturas da vida, em seus diferentes níveis (células, tecidos, órgãos, indivíduos, comunidades, ecossistemas, biomas, biosfera), organizaram-se de forma a viabilizar os processos vitais. Estes, por sua vez, possibilitam a existência das formas estruturais em nível individual e coletivo.

Para que isso se tornasse possível, a vida criou mecanismos de organização, complexificação e troca, em estruturas dissipativas e sistemas autopoieticos.

Em uma célula, por exemplo, as membranas não somente estabelecem os limites das diferentes organelas citoplasmáticas, especializadas em diferentes processos vitais, mas também criam condições adequadas a estes processos, a partir da absorção e transformação de substâncias. E, assim, outras substâncias são formadas, liberadas para fora da organela, as quais são utilizadas em outros processos, como representado na Figura 7, utilizando como exemplo o funcionamento da mitocôndria, organela responsável pela respiração celular.

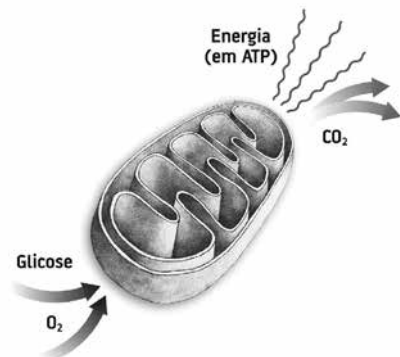


Figura 7. Funcionamento da mitocôndria no interior de uma célula.

Em um organismo pluricelular, este mecanismo é mais fácil de ser percebido. Uma árvore, por exemplo, tem estruturas especializadas, cada uma com uma função específica, e cada uma dependente dos processos vitais promovidos pelas outras. A raiz é limitada por tecidos resistentes, que possibilitam à planta penetrar no solo; ao mesmo tempo, dela partem tecidos mais finos, que permitem a absorção de água e nutrientes. Um dos produtos principais dessa organização é a seiva bruta, entregue ao caule, para que este cumpra sua função de seu transporte às folhas, onde ela será processada. Mas, além da seiva bruta, o produto dessa organização é a própria estrutura da raiz, que só se mantém por conta da glicose e do oxigênio produzidos nas folhas, na fotossíntese. Neste processo, um dos reagentes é a água da seiva bruta. Assim, raiz, caule e folhas, existindo e funcionando, permitem o funcionamento e a existência uns dos outros.

Em uma comunidade de organismos, essa lógica permanece. Usando novamente como exemplo uma árvore, é possível identificar, somente a partir dela, várias inter-relações:

- o processo vital da fotossíntese, ao liberar oxigênio na atmosfera, permite a respiração de vários outros organismos;
- a penetração da raiz no solo contribui na infiltração de água, possibilitando a germinação de outras espécies vegetais e garantindo a umidade e alimento necessários para a micro e mesofauna do solo;
- a relação das raízes com bactérias fixadoras de nitrogênio ou com micorrizas favorece a existência destes seres, disponibilizando glicose a eles e, ao mesmo tempo, a ampliação de absorção de água ou de nitratos que esses organismos promovem, contribuindo com o crescimento e o metabolismo da árvore;
- as flores e os frutos são fonte de alimento para a fauna, que por sua vez promove a polinização e a dispersão de sementes;
- a copa da árvore contribui para a proteção do solo, evitando a erosão pelo impacto da chuva, o que permite a estruturação do solo e a promoção da vida de vários organismos.

A lista das inter-relações é grande e variada!

Portanto, seja em nível celular, individual, comunitário ou ecossistêmico, ao mesmo tempo em que cada estrutura se mantém, ela produz substâncias ou condições adequadas para que outras estruturas funcionem e existam. É a vida funcionando! O aprendizado das várias espécies, ao longo da evolução, tem sido “se localizar” neste processo.

Cada uma tem seu nicho ecológico, ou seja, um espaço onde a luz, a temperatura, a umidade, a relação com outras espécies e tantas outras condições são adequadas a ela. Ao estar ali, por sua vez, “funcionando”, cada indivíduo de cada espécie produz substâncias e condições adequadas para outros organismos. Isso possibilita a vida coletiva, a constante criação de novas formas de adaptação e, conseqüentemente, a ampliação da biodiversidade. É dessa forma que cada organismo contribui com todo o sistema, fazendo parte de seu funcionamento e evolução por meio da cooperação em rede.

Fazer agrofloresta é identificar as estruturas e os mecanismos de funcionamento da vida no local de fazer agricultura, “ocupando o nicho” humano por meio do manejo agroflorestal e orientando o sistema para a produção de alimentos e outros produtos, em meio à produção de biodiversidade e da troca entre os seres vivos. A Figura 8 demonstra essa lógica.

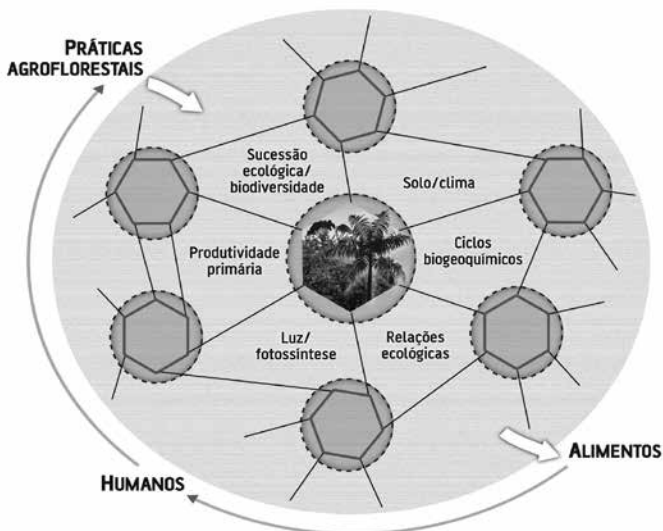


Figura 8. Representação esquemática da configuração de um sistema agroflorestal.

O sistema agroflorestal é, portanto, um sistema vivo e, como tal, sua configuração é:

- na forma de redes dentro de redes;
- onde ocorrem os fluxos de energia e matéria, movidos pela energia solar;
- onde os componentes do sistema estão numa cooperação generalizada, interligados por alianças e parcerias;
- onde a diversidade imprime maior capacidade de funcionamento e orienta para a manutenção de um estado estável, mantendo (e até melhorando) a função do ecossistema.

Dessa forma, as agroflorestas complexas são sistemas produtivos que potencializam a capacidade de auto-organização e autogeração dos sistemas vivos, produzindo alimentos, fibras, madeiras, plantas medicinais e outros produtos como parte da expressão deste funcionamento que se mantém ao longo do tempo.

É neste sentido que Ernst Götsch desenvolveu o conceito e a prática da agricultura sintrópica, que vem sendo cada vez mais disseminada no Brasil e no mundo. De acordo com Götsch, “a vida não funciona nos princípios da entropia, do complexo para o simples. A vida se baseia em processos que levam do simples para o complexo, na sintropia” (Andrade; Pasini, 2022).

A sintropia refere-se assim à evolução da organização das partículas de dado sistema. Quando o sistema vai do simples para o complexo, convergindo e concentrando a energia, trata-se de um sistema sintrópico (Rebello; Sakamoto, 2021).

Assim, a agricultura sintrópica, tendo como base a prática agroflorestal, é uma agricultura de processos, integrando os cultivos aos processos ecológicos, que sempre conduzem ao aumento de diversidade, de relações ecológicas, de complexidade e de abundância.

3. O PAPEL DA FOTOSÍNTESE

Como vimos, todo sistema vivo possui um fluxo contínuo de energia e matéria. Esse fluxo inicia com a fotossíntese.

A fotossíntese é o processo em que as plantas (além de algas unicelulares e algumas bactérias) utilizam a energia luminosa, proveniente de parte da radiação solar que chega à superfície da Terra, e a transformam em energia química. Durante esse processo, as plantas captam CO_2 da atmosfera e absorvem nutrientes e água do solo, produzindo sua matéria. Então, a produção de matéria vegetal da parte aérea das plantas (troncos, galhos, folhas, frutos e sementes), das raízes e exsudatos (que são compostos orgânicos liberados pelas raízes) é oriunda da energia solar, que promove o início das cadeias alimentares do planeta Terra.

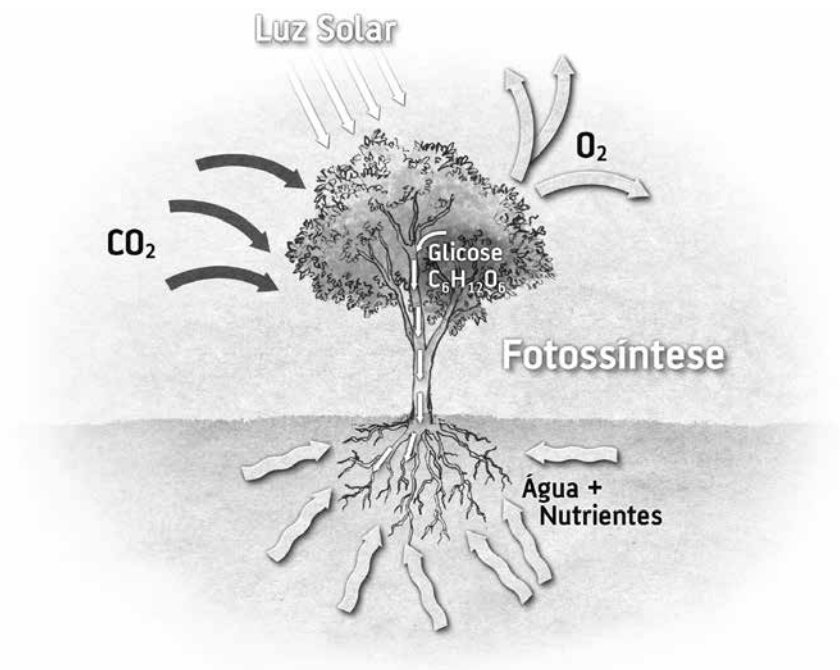


Figura 9. Representação esquemática do processo de fotossíntese.

Portanto, a matéria de praticamente todas as formas vivas no planeta existe por causa da fotossíntese. A fotossíntese se constitui na biotecnologia gerada pela evolução natural que permitiu, há bilhões de anos, que os organismos pudessem passar a produzir alimento e estrutura a partir de luz solar, água e gás carbônico.

Quando se olha para uma floresta tropical, por exemplo, ou para qualquer outro ambiente natural, é importante ter clareza de que toda forma viva ali existente é composta, basicamente, de carbono que veio da atmosfera, e que as ligações químicas entre os elementos e entre as substâncias que dão forma e funcionamento a essa vida têm como caldeira de energia a luz solar. Isso vale tanto para as plantas, que fazem fotossíntese, quanto para os animais, que consomem as plantas para se alimentar.

Quando nós, seres humanos, pensamos, andamos ou nos exercitamos, estamos gastando fundamentalmente energia solar, que foi transformada em energia química na glicose produzida pela fotossíntese; a glicose, carregada dessa energia, foi transformada pelas plantas, entre outras substâncias, em amido; quando comemos amido, o transformamos novamente em glicose em nossa digestão, levamos a glicose até cada uma de nossas células e, nas mitocôndrias, no interior das células, extraímos a energia para o nosso metabolismo. Isso é feito por todos os animais.

Uma vez que a fotossíntese é o processo básico para a geração da matéria vegetal e funcionamento dos seres vivos – inclusive daqueles vegetais que cultivamos para comer –, é relevante estimularmos a fotossíntese de forma que ela ocorra plenamente, pois, assim, teremos elevada produtividade na agricultura. É por isso que um provérbio chinês antigo diz que “a agricultura é a arte de guardar o sol”.

Embora possamos ter a impressão de que a fotossíntese é tão natural que ocorre em qualquer lugar onde haja incidência de luz, é importante considerar que, para que a taxa de fotossíntese seja otimizada – e com isso a quantidade de biomassa gerada –, é necessário que haja luz, água, gás carbônico e nutrientes em quantidades adequadas.

É nos trópicos que os efeitos da fotossíntese são mais notáveis. A produtividade primária, ou seja, a matéria vegetal produzida a partir da fotossíntese, é muito maior em regiões tropicais do que em regiões temperadas. A maior quantidade de energia solar associada à maior umidade,

gera maior quantidade de biomassa, o que reflete em uma capacidade de os trópicos sustentarem um maior número de espécies e explicar a superioridade em produtividade. Mais luz e umidade, portanto, geram mais diversidade, sendo essa uma das principais hipóteses para a explicação da maior biodiversidade nestas regiões (Pianka, 1966).

Como não poderia deixar de ser, em uma floresta tropical existem mecanismos para a manutenção da água no sistema – fundamental à fotossíntese. Um deles é a cobertura da floresta pelas copas das árvores. O fato de existir essa cobertura evita a incidência direta de energia solar no solo. Isso reduz sua temperatura e, conseqüentemente, a evaporação de água diretamente a partir da superfície do solo.

A cobertura florestal, porém, não é realizada apenas pelas copas do dossel (ou do “teto” da floresta). Existem diferentes “andares” ou estratos, ao longo de um perfil vertical, ocupados por copas de árvores, arbustos e ervas de diferentes espécies. Estes diferentes estratos servem como barreiras que evitam a saída de uma grande quantidade de vapor de água evapotranspirada, mantendo elevada a umidade relativa do ar dentro da floresta e reduzindo a amplitude térmica do ambiente. Entretanto, é importante notar que isso não impede que as copas das árvores do dossel transfiram constantemente uma grande quantidade de água do solo para a atmosfera, conferindo às florestas o importante papel de refrigeração atmosférica planetária.

Além disso, a cobertura florestal multiestratificada evita que as gotas de chuva atinjam diretamente o solo – em uma floresta tropical, apenas em torno de 1% das gotas de chuva chegam diretamente ao chão. A maior parte da chuva atinge as copas, escorrendo lentamente, evitando a erosão e contribuindo, assim, para a manutenção da estrutura do solo. Essa estruturação também é consequência da atuação das raízes e dos microrganismos do solo. Bem estruturado, o solo permite a infiltração e a manutenção de água em seus microporos e nos lençóis freáticos.

Durante um período de chuva, portanto, parte da água é mantida nos próprios vegetais e parte é acumulada no solo. Em um período de déficit de água, essa água acumulada pode ser usada pelas plantas, mantendo o processo de fotossíntese, ou realocada para a atmosfera (Pianka, 1994).

A estrutura florestal também influencia a forma da incidência de luz, determinando a eficiência fotossintética. A intensidade de luz varia com a

altura da floresta. Árvores com copas no estrato alto da floresta recebem incidência total de radiação solar, enquanto árvores e arbustos nos estratos mais baixos recebem progressivamente menos luz altas. Semelhante ao que ocorre com a chuva, em florestas bem densas, menos de 1% da luz solar chega diretamente ao solo (Figura 10).

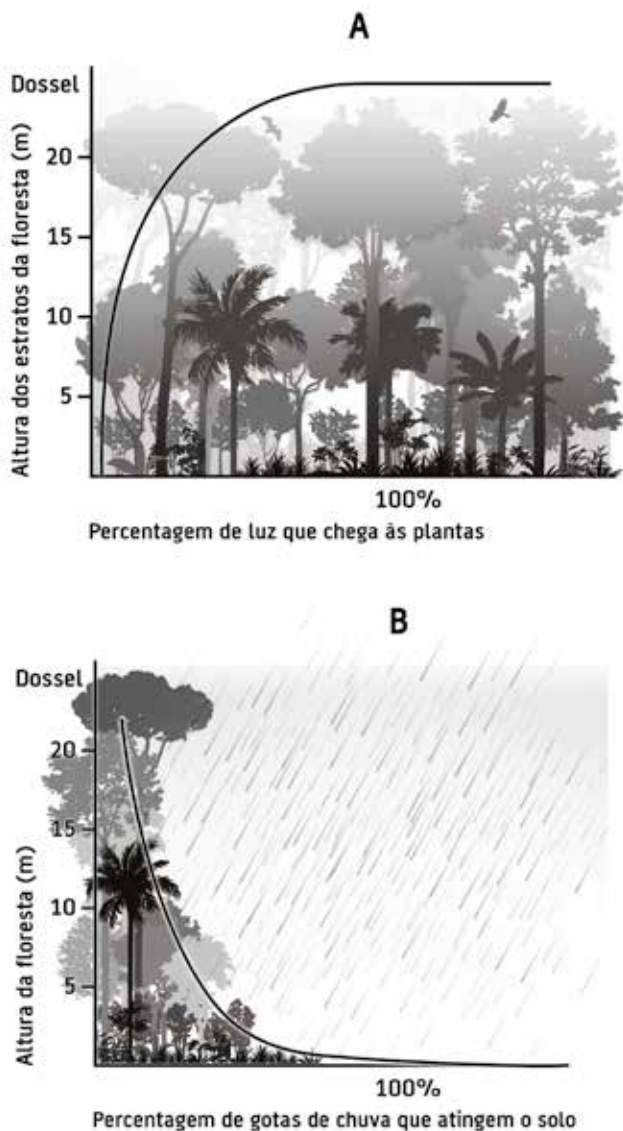


Figura 10. (A) Porcentagem de luz que chega às plantas. Fonte: adaptado de Pianka (1994). (B) Porcentagem de gotas de chuva que chegam diretamente ao solo em uma floresta tropical.

A variação de luz que chega a cada planta influencia, também, o próprio gasto de energia para receber essa luz. Apesar de uma árvore do dossel ter mais energia solar disponível do que uma erva próxima ao solo, a árvore precisa despende muito mais energia para os tecidos de suporte (madeira) do que a erva. Ao mesmo tempo, plantas do sub-bosque (aquelas de baixa estatura que crescem em nível de altura abaixo do dossel florestal) são, frequentemente, muito mais tolerantes à sombra e capazes de fazer fotossíntese em menores taxas de incidência luminosa. Assim, cada espécie vegetal, com sua estratégia de crescimento e forma de vida, apresenta seus próprios custos e benefícios (Pianka, 1994).

Em uma floresta tropical, além do gradiente vertical de incidência luminosa e de água da chuva, existe também uma variação espacial, ou horizontal, destes fatores. Isso porque a formação natural de clareiras, nestas florestas, é muito frequente. As clareiras são formadas, geralmente, por quedas naturais de árvores e, por vezes, a partir de incêndios. Quando isso acontece, há uma maior entrada de luz na clareira do que no restante da floresta. Em termos gerais, isso aumenta a taxa de produtividade primária nas clareiras, ou seja, a velocidade em que o carbono originado da atmosfera é transformado em matéria vegetal. Isso ocorre porque há mais fixação de carbono atmosférico em forma de tecidos vegetais do que a produção de gás carbônico, via respiração, pelas plantas. É neste momento que várias plântulas que estavam recebendo pouca luz passam a crescer mais rapidamente, e que muitas sementes presentes no solo são estimuladas a germinar, em função do aumento da temperatura do solo.

A formação de clareiras é o principal “motor” de fixação de carbono, via fotossíntese, nas florestas tropicais, pois, na medida em que uma nova formação florestal vai se estabelecendo, uma grande quantidade de gás carbônico vai sendo fixado na forma de tecidos vegetais (matéria vegetal). Porções de florestas maduras têm um saldo praticamente nulo entre a quantidade de carbono fixada e a quantidade de carbono emitida pela sua respiração. É justamente com a formação de clareiras que há intenso incremento de biomassa e de carbono na área, a partir da germinação, rebrota e rápido crescimento de várias espécies.

A partir das últimas décadas do século XX, vários trabalhos passaram a identificar que a formação de clareiras em florestas tropicais é de fato

muito mais comum do que se imaginava, ocupando grandes percentagens de áreas das florestas e com períodos de rotação (tempo para uma clareira voltar a ser clareira) relativamente curtos (Brokaw, 1985; Martínez-Ramos et al., 1988; Oliveira, 1997). Desde então, vem sendo cada vez mais aceita a concepção de florestas tropicais como mosaicos de clareiras, de diferentes idades e tamanhos. Isso contribui fortemente para o aumento da biodiversidade em nível regional, considerando a variação de adaptações das espécies às diferentes condições de luminosidade, temperatura, umidade e demais características variáveis entre clareiras de diferentes tamanhos.

A relação entre umidade e luminosidade, facilmente identificada em florestas tropicais, é quebrada quando se retira a floresta para a produção monocultural. Em uma grande lavoura de soja, por exemplo, há obviamente uma forte incidência direta de luz solar, um dos componentes da fotossíntese. Entretanto, a elevada temperatura do solo (provocada inclusive por esta incidência direta), associada à ausência de uma cobertura florestal em diferentes estratos, faz com que haja aumento da evaporação de água na superfície do solo. Com menos água armazenada no solo, diminui a capacidade fotossintética das plantas.

Além disso, em elevada temperatura, grande parte das plantas fecha seus estômatos (poros por onde ocorrem as trocas gasosas e a transpiração) como estratégia para evitar a desidratação. Com estômatos fechados, a captação de gás carbônico para a fotossíntese é temporariamente interrompida. O solo, por sua vez, atingido diretamente pela maior parte das gotas de chuva e pela luz solar, tende a se desestruturar, desagregando os grumos que formam os macro e microporos e reduzindo sua capacidade de armazenamento e disponibilidade de água.

Assim, compreende-se que a eficiência fotossintética reflete no adequado funcionamento de todos os componentes do sistema e vice-versa, como de fato ocorre com os sistemas vivos em função da configuração em rede. A fotossíntese é o processo que permite a entrada de energia no ecossistema e promove a auto-organização e conseqüente autogeração dos componentes, constituindo o processo de autorregulação.

De uma forma simples, podemos dizer que a fotossíntese é a “bomba” que aciona todos os processos ecológicos do ecossistema. Um ecossistema configurado e manejado em rede, cujos componentes produtivos

estão conectados e a produção de biomassa vegetal é elevada e diversificada, gera-se os processos ecológicos de ciclagem eficiente de nutrientes – o que reduz a necessidade de insumos externos; gera-se também alta diversidade de espécies de microorganismos e animais, criando complexidade de interações entre espécies e interferências mutualísticas (aquelas em que juntos são melhores) – o que diminui o risco de perda catastrófica de alguma espécie vegetal, maior potencial para controle biológico e maior estabilidade e, novamente, redução da necessidade de insumos externos (Gliessman, 2000).

Nessa condição, constrói-se um sistema produtivo autorregulador, tendo a energia originada da fotossíntese como base e a biomassa vegetal como estrutura fundamental. Do contrário, em sistemas manejados em configuração simples, com poucas espécies vegetais e sem conexão entre elas, a autorregulação não ocorre e, por consequência, os processos ecológicos rumam à simplificação. É por isso que esses agroecossistemas necessitam da entrada de insumos externos, os quais farão as funções que as relações desempenham nos sistemas produtivos complexos.

4. A BUSCA PELA EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA NOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS

“Uma intervenção é sustentável se o balanço de energia complexificada e de vida é positivo (...)” (Götsch, 1995). Seguindo esta premissa, sistemas agroflorestais agregam a produção de alimentos e outros produtos à complexificação crescente do sistema. Dessa forma, entre outros aspectos, as agroflorestas utilizam a fotossíntese para potencializar a produção de matéria viva.

Um dos caminhos utilizados para esta potencialização é a otimização da produtividade no perfil vertical das agroflorestas. A combinação entre a implantação gradativa de um maior número de agroflorestas, porém de menor área e maior intensidade de manejo, potencializa a produtividade por área (Steenbock et al., 2013a). Ao mesmo tempo, as áreas sem manejo vão se tornando capoeiras (áreas em que a vegetação espontânea se desenvolve), e, assim, acumulam biomassa e energia para a implantação de agroflorestas em médio prazo.

À primeira vista, as capoeiras podem ser entendidas como áreas sem uso. Entretanto, de acordo com os relatos dos agricultores da Cooperafloresta, agroflorestas implantadas em áreas que eram anteriormente capoeiras tendem a ser muito mais férteis e mais fáceis de se tornarem “completas”. Isso porque há um acúmulo de matéria vegetal e matéria orgânica em decomposição nas capoeiras, proveniente da produtividade primária que, se bem manejada, pode se constituir em potencialização da produtividade das agroflorestas implantadas posteriormente.

O manejo agroflorestal, na Cooperafloresta, tem estabelecido um uso do solo em que são mantidos, em média, quatro hectares de capoeiras

para um hectare de agrofloresta (as agroflorestas se constituem em 21,5% da área constituída pelo somatório de áreas de agroflorestas e capoeiras). Assim, no sistema agroflorestal praticado pelos associados da Cooperafloresta, existem dois mecanismos, um formador de agrofloresta e outro de capoeira que, rotacionados ao longo do tempo no espaço das propriedades, ocupam 74% da paisagem das áreas das famílias agricultoras (Steenbock et al., 2013a).

É notória, nessa forma de manejo, a semelhança com a dinâmica de clareiras – principal processo de otimização da produtividade primária nas florestas tropicais. Brokaw (1985) identificou que, em florestas tropicais, as clareiras originadas por queda de parte de árvore, por uma ou por várias árvores, somavam em média 25% da área total da floresta (Tabela 1).

Tabela 1. Tipos de frequência e área de clareiras em floresta tropical.
Fonte: adaptado de Brokaw (1985).

Tipo de clareira	Frequência (%)	Área da floresta (%)
Parte de uma árvore	23	10
Uma única árvore	51	38
Árvores em dominó	14	16
Sobreposição de árvores	13	36
<i>Média</i>		25

Oliveira (1997), revisando diferentes trabalhos, caracterizou o tempo médio de rotação – o período em que uma clareira tende a voltar a ser clareira após o crescimento florestal – em 125 anos, em florestas tropicais, evidenciando a renovação constante da floresta a partir da dinâmica de clareiras.

Associado à rotação de agroflorestas em meio a áreas florestais, o manejo agroflorestal, para ser produtivo nos vários estratos verticais da floresta, envolve plantios bastante densos, o que potencializa a fotossíntese e a produtividade.

Nestes plantios, a metodologia é a implantação de canteiros agroflorestais separados por faixas destinadas ao cultivo de gramíneas ou consórcios de espécies de adubação verde, que desempenham a função de captar energia solar nas etapas iniciais da sucessão ecológica, quando a estrutura florestal propriamente dita ainda não está formada. A poda frequente das

gramíneas e a deposição do material podado nos canteiros favorece o acúmulo de energia e matéria vegetal no sistema.

Na medida em que as espécies plantadas vão se desenvolvendo, outras espécies provenientes das áreas florestais vizinhas se estabelecem na agrofloresta, também fixando gás carbônico da atmosfera pelo processo de fotossíntese. Para garantir a entrada de luz necessária para que a fotossíntese aconteça nos vários estratos da agrofloresta, são feitas podas frequentes, tanto das espécies plantadas quanto das espécies originadas de regeneração natural. A poda, portanto, promove o incremento das espécies do sub-bosque, de forma ainda mais intensa do que em florestas nativas.

Procurando cobrir o solo adequadamente, seja distribuindo e depositando cuidadosamente o material podado no solo, seja mantendo plantios densos e estratificados, cria-se uma proteção do solo à incidência direta de luz e das gotas de chuva.

Por outro lado, a promoção da estrutura multiestratificada da agrofloresta cria um ambiente propício para a manutenção de elevada umidade relativa do ar em seu interior, bem como para a redução dos ventos.

O resultado desse manejo é a otimização do uso da água, do gás carbônico e da luz – ou seja, da fotossíntese e da produtividade primária – no sistema agroflorestal.

Agroflorestas conduzidas sob este tipo de manejo fixam nas plantas e no solo, em média, 6,7 toneladas de carbono da atmosfera por hectare por ano, na região do Vale do Ribeira (Steenbock et al., 2013c). Agroflorestas de 15 anos, manejadas desde 1991 de forma semelhante no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, apresentaram 100 toneladas de carbono por hectare de estoque de carbono acumulado (MMA/Centro Ecológico, 2013).

5. ENERGIA: FLUXO E EFICIÊNCIA

A energia no planeta Terra segue duas leis da termodinâmica. A primeira lei afirma que toda a energia pode ser transformada de uma forma para outra, mas não pode ser criada, nem destruída. E a segunda lei indica que em toda transformação ocorre dissipação de energia na forma de calor (energia térmica).

No que se refere à eficiência fotossintética, é importante compreendermos sobre o comportamento da energia nos ecossistemas. Com base nas leis termodinâmicas, a energia move-se constantemente através da cadeia alimentar, e muda de forma à medida que é transferida de um nível trófico (alimentar) para outro (Gliessman, 2000). Ela entra como energia solar e é convertida em energia química, através da fotossíntese, e armazenada na matéria vegetal. Os organismos herbívoros, aqueles que se alimen-

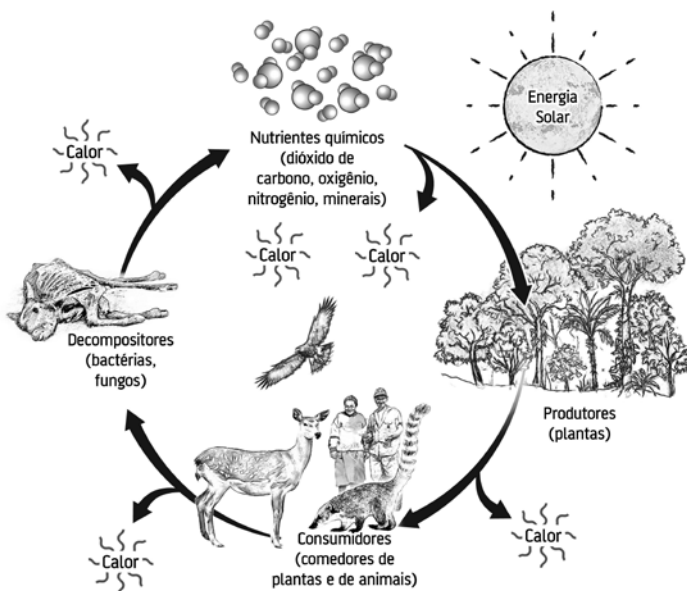


Figura 11. Representação simplificada do fluxo de energia nos ecossistemas terrestres.

tam de plantas, utilizam a energia contida na matéria vegetal para crescer, mover-se, reproduzir-se. Da mesma forma, os organismos carnívoros utilizam a energia contida nos herbívoros, que são seu alimento, para crescer, mover-se e reproduzir-se. Durante esse processo de transferência de energia na cadeia alimentar, a maior parte da energia é transformada em energia térmica, que não fica mais disponível para ser utilizada, ou seja, ela é perdida na forma de calor. Esse é um processo natural na biosfera do planeta Terra. Veja a representação simplificada do fluxo de energia nos ecossistemas na Figura 11.

Nos sistemas agrícolas, além da energia ecológica, que é a energia do sol para a fotossíntese, existe a energia cultural, que é aquela adicionada pelos humanos via insumos e práticas de manejo. Gliessman (2000) classificou as fontes de energia para produção de alimentos, conforme apresentado na Figura 12.



Figura 12. Classificação das fontes de energia utilizadas na agricultura. Fonte: adaptado de Gliessman (2000).

A energia cultural pode ser de origem biológica, que são as energias derivadas de fontes humanas e animais, como o trabalho, o esterco; e a de origem industrial, que são as energias de fontes não biológicas, como o petróleo, os maquinários e os agrotóxicos – nessas são empregadas energias

anteriores à sua produção (por exemplo, os agrotóxicos para serem produzidos necessitam de uma grande quantidade de energia para concentrar os elementos no produto final).

Um aspecto fundamental nos sistemas agrícolas é analisar a eficiência do uso da energia cultural adicionada, obtida pelo seguinte cálculo:

$$\text{Eficiência do Uso de Energia Cultural} = \frac{\text{quant. de energia em calorías contida na matéria vegetal colhida}}{\text{quant. em calorías de energia cultural exigida para produzi-la}}$$

A eficiência do uso de energia cultural tende a ser superior quanto maior for o uso de energia biológica em relação à industrial. Isto porque as energias de origem industrial possuem elevada quantidade de calorías e, para o sistema ser eficiente, é necessário retirar uma quantidade de energia na forma de produto muito maior.

No caso das agroflorestas, a principal energia utilizada é a energia ecológica – energia da radiação solar – e a energia cultural biológica, que é o trabalho humano e as sementes e mudas inseridas nos sistemas agroflorestais. A eficiência do uso de energia é muito elevada nesse caso. Gliessman (2000) apresentou dados de uma plantação de milho de roçado no México em que 90% da energia aportada foi oriunda do trabalho humano (energia cultural biológica) e apresentou uma eficiência no uso da energia cultural de 12,5, ou seja, para cada caloría de energia cultural adicionada para produzir o milho, se colheu 12,5 calorías na forma de milho. Por outro lado, ele mostra um sistema de produção de milho nos Estados Unidos na década de 1980 em que 26,5% da energia aportada foi oriunda de adubo nitrogenado, 21% foi de petróleo e 11% foi de agrotóxicos. A eficiência da energia cultural, nesse caso, foi de 2,9.

Em agroflorestas em larga escala, o uso de maquinários requer a entrada de combustíveis fósseis como fonte energética, o que tende a diminuir a eficiência do uso da energia cultural. Porém, vale ressaltar que o mais importante é configurar os componentes do sistema produtivo na forma de rede, conectando-os uns aos outros, pois, assim, a energia cultural adicionada executará a função de potencializar as relações construídas. O uso dos insumos energéticos deve ter a finalidade de potencializar as relações construídas pela configuração em rede dos sistemas produtivos e não fazer a função que as relações desempenhariam nos processos ecológicos (explicitado neste livro no final do item 3. O papel da fotossíntese).

6. NUTRIENTES: FLUXO E EFICIÊNCIA

Juntamente com o fluxo de energia está o fluxo de matéria, que é composto pelo carbono e pelos nutrientes. Na fotossíntese, como já vimos, o carbono e os nutrientes são incorporados à matéria vegetal. Quando esta é utilizada na cadeia alimentar, estes passam pelo sistema, estabelecendo e potencializando as relações.

À medida que ocorre a decomposição do material orgânico nos diferentes níveis da cadeia alimentar, parte do carbono é transformada pela microrganismos em CO_2 e volta para a atmosfera, que, posteriormente, será absorvido por outra planta através da fotossíntese. E os nutrientes, quando liberados no processo de decomposição, ficam disponíveis para uso dos organismos do solo ou de uma nova planta em fase de absorção de nutrientes. Esse “caminho” dos nutrientes caracteriza o fluxo de matéria nos ecossistemas agrícolas. Nesse fluxo, se considerarmos um determinado agroecossistema, podem ocorrer perdas quando:

- existe a saída de carbono e nutrientes na forma de produtos para as famílias e para a venda;
- ou quando os nutrientes estão junto com a água do solo e esta é infiltrada a profundidades maiores que as raízes absorventes;
- quando há erosão do solo ou lixiviação dos nutrientes;
- ou, também, quando os nutrientes estão disponíveis, mas as plantas não estão em fase de absorção dos mesmos (no período de envelhecimento da planta, por exemplo).

Nesses casos, o nutriente sai do agroecossistema que estamos manejando e vai para os ecossistemas do entorno. Nesse aspecto, podemos considerar que a matéria tende a “ciclar” dentro da biosfera, pois, mesmo

saindo de um determinado ecossistema, o carbono e os nutrientes são utilizados em outros ecossistemas. Isto é diferente para a energia, que entra na forma de energia solar (radiação solar) e que, após transformada em calor, não é recuperada para os ecossistemas. De qualquer forma, a entrada de energia é constante, por meio da radiação solar, o que garante o abastecimento energético contínuo das redes dentro dos sistemas vivos.

A eficiência do fluxo de matéria nos sistemas agroflorestais ocorre pela complexidade das relações não lineares entre os componentes (minerais do solo, plantas e organismos). Nessa complexidade de relações, a matéria é transferida de um componente para outro. Por isso que, quanto mais complexa e diversa é a estrutura de um sistema de produção agrícola, os nutrientes permanecem mais tempo fluindo entre os componentes, diminuindo as perdas para o entorno. Ressalta-se que, no caso das agroflorestas, essa complexidade é produto da configuração dos componentes e do manejo que promove a riqueza de espécies vegetais, otimizando a fixação do carbono e do nitrogênio atmosférico (como o plantio adensado, a poda e o incremento da biota no solo), resultando em propriedades que capacitam o sistema a fazer melhor uso da energia e matéria.

Portanto, a estrutura e o funcionamento dos sistemas agroflorestais geram propriedades emergentes que promovem alta eficiência fotossintética no uso da energia e dos nutrientes. Além disso, é essencial ressaltar que as propriedades emergentes dos sistemas agroflorestais lhes capacitam a executar os serviços ecossistêmicos, que são os benefícios que o ecossistema entrega para os humanos terem uma vida adequada, tais quais produção de alimentos e fibras, água potável, regulação de enchentes, controle de doenças, e espaço para recreação e elevação espiritual.

7. O PAPEL DA SUCESSÃO ECOLÓGICA

7.1. Os Nichos Ecológicos e a Biodiversidade

Tendo a fotossíntese como biotecnologia de produção de matéria vegetal, a vida se adaptou e se adapta constantemente para ocupar diferentes espaços, com toda a variação de combinações de condições de luminosidade, temperatura, umidade, disponibilidade de nutrientes, relações ecológicas e tantas outras.

Cada espécie se adapta melhor a cada combinação destas condições. Estas combinações são denominadas de nichos ecológicos. Em um ambiente natural, se ocorrer determinado nicho ecológico, espécies que ocupem adequadamente este nicho encontrarão condições apropriadas para seu desenvolvimento.

A bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), por exemplo, é uma árvore que se adaptou às condições de clareiras do ecossistema de Floresta Ombrófila Mista, ou Floresta de Araucária. Quando se forma uma clareira em florestas desse ecossistema, a temperatura do solo se eleva, quebrando a dormência das sementes da espécie que se encontram no solo. A árvore cresce rapidamente e em elevada densidade, contribuindo para fechar rapidamente a clareira e criar condições para as outras espécies florestais se desenvolverem. A partir de poucos anos de vida, a árvore já produz floradas anuais em grande intensidade, fornecendo alimento para uma grande quantidade de insetos, que chegam à clareira e polinizam também outras espécies. Todo ano, são produzidas muitas sementes, que vão formando o banco de sementes do solo. As árvores de bracatinga morrem entre vinte e vinte e cinco anos, mas o banco de sementes originado desse curto período fará com que, quando uma nova clareira se abrir, mesmo que décadas depois, a bracatinga encontre seu espaço e cumpra seu papel nas

relações ecológicas e processos vitais daquela floresta, ou seja, ocupe seu nicho ecológico (Steenbock, 2009). Essa é uma breve descrição do nicho ecológico da bracatinga. Cada espécie, assim como ela, tem seu nicho mais apropriado.

Existe uma forte relação entre a biodiversidade e a variação de nichos ecológicos. Quanto mais espécies convivendo, maior a quantidade de nichos formados. Quanto maior a variação entre os nichos, mais pressão de seleção para a geração de variabilidade genética das espécies, e consequentemente mais biodiversidade (Figura 13). Assim, a heterogeneidade ambiental proporciona às espécies a coexistência em meio à biodiversidade, porque elas podem se especializar em diferentes partes do espaço de nicho (Ricklefs, 2003). Por outro lado, as substâncias produzidas pelas espécies, as condições diferenciais de umidade, luminosidade e outras características geradas a partir de sua presença no ambiente determinam a formação de novos nichos.

Usando novamente o exemplo da bracatinga, o fato da espécie produzir floradas abundantes, logo após o inverno (período de menor oferta de recursos alimentares aos insetos polinizadores), contribui para o estabelecimento de nichos ecológicos para estes insetos, entre tantas outras relações; o fato de as raízes da espécie apresentarem associações com bactérias fixadoras de nitrogênio gera condições adequadas para várias espécies da micro e mesofauna do solo; e assim por diante.

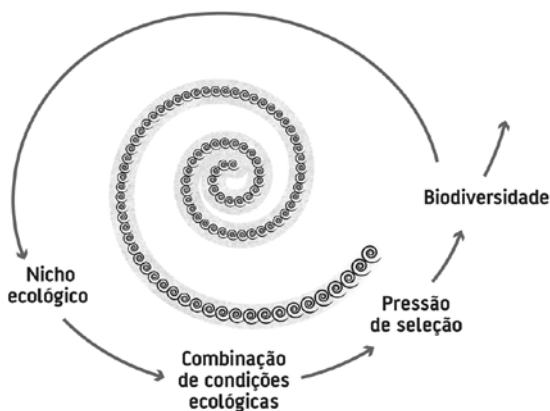


Figura 13. Representação esquemática da relação entre nichos ecológicos e biodiversidade, ressaltando que cada “espiral” retrata o contínuo de modificações da comunidade de organismos vivos e estrutura física do meio.

7.2. A Sucessão Ecológica como manifestação de Nichos Ecológicos

Em um ambiente natural, cada nicho ecológico vai aparecendo na medida em que o espaço vai sendo ocupado por diferentes espécies. Esse funcionamento se alinha à concepção de que as florestas tropicais são mosaicos de clareiras de diferentes idades e tamanhos, que geram o incremento de biodiversidade. Portanto, ao surgimento de nichos ecológicos dá-se o nome de sucessão ecológica. Margalef (1968) definiu sabiamente a sucessão ecológica como o acréscimo de informação em um ecossistema, refletindo justamente o incremento de relações, da comunicação e da biodiversidade a partir das modificações do meio, da vegetação, dos microorganismos e dos animais. A Figura 14 demonstra essa lógica de interação em que o surgimento de novos nichos ecológicos conduz à sucessão ecológica.

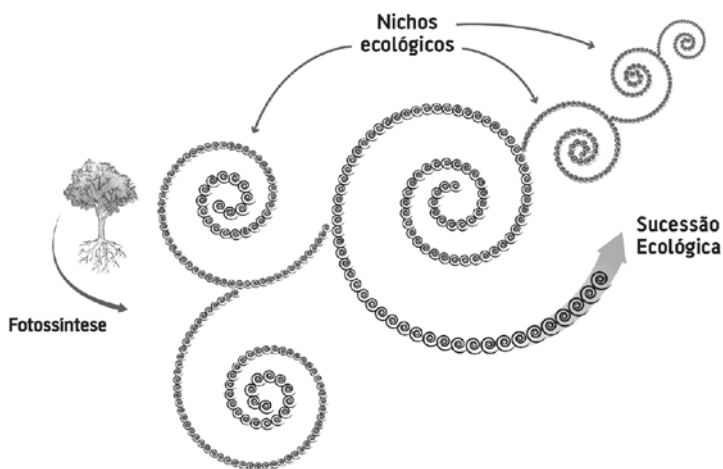


Figura 14. Representação esquemática dos nichos ecológicos como produto da sucessão ecológica.

Em uma clareira, ou em uma área de cultivo abandonada, as primeiras espécies vegetais a aparecer são chamadas de pioneiras, seguidas pelas secundárias e depois pelas climácicas.

As espécies pioneiras estão presentes no solo em forma de sementes, produzidas em grande quantidade, quando as plantas adultas dessas espécies viviam ali. As sementes dessas espécies, em geral, mantêm a viabili-

dade de germinação por muito tempo, permanecendo dormentes no solo até que condições adequadas de temperatura e luminosidade estimulem sua germinação, o que acontece quando clareiras – especialmente clareiras grandes – são formadas. Após a germinação, as plantas de espécies pioneiras crescem muito rapidamente, em elevada densidade e, em pouco tempo, iniciam ciclos de produção de flores e frutos em grande quantidade. A estratégia das pioneiras é justamente garantir sua sobrevivência na forma de sementes viáveis no solo – em muitas espécies enquanto a planta adulta não chega a viver uma década, suas sementes chegam a durar por várias décadas no solo.

Dessa forma, essas espécies têm um papel fundamental no incremento da biodiversidade, seja promovendo a umidade do ar e o sombreamento na área, seja aumentando a permeabilidade do solo (e com isso possibilitando a vida de vários organismos do solo), ou ainda atraindo, a partir da disponibilização de abrigo e da grande quantidade de alimento que fornecem em suas flores e frutos, uma grande variabilidade de insetos, pássaros, morcegos e outros animais. Estes animais, por sua vez, trazem uma grande quantidade de pólen e de sementes, de várias espécies. É através desse transporte de sementes que muitas espécies secundárias e climáticas chegam à área.

As espécies secundárias não crescem na mesma densidade das espécies pioneiras, ou seja, elas são mais esparsas na área. Muito embora possa haver plantas jovens de espécies secundárias em elevada densidade, formando núcleos, a tendência é a sobrevivência de apenas uma ou algumas delas naquele espaço, ao longo do tempo. A seleção natural, portanto, atua sobre esses núcleos, estimulando a sobrevivência daqueles indivíduos mais adaptados ao nicho local.

As sementes de espécies secundárias, frequentemente, não apresentam dormência. Estas espécies crescem mais vagorosamente que as espécies pioneiras, apresentando, em geral, momentos de maior velocidade de crescimento, quando quedas de galhos ou de árvores inteiras, próximas a elas, liberam a passagem de maior intensidade luminosa. Muitas vezes, plantas dessas espécies ficam por muitos anos praticamente do mesmo tamanho, aguardando maior intensidade luminosa para crescerem.

Em cada evento reprodutivo, a quantidade de flores e de sementes é, usualmente, menor nas espécies secundárias do que nas espécies pioneiras.

Porém, as espécies secundárias permanecem na área por décadas, fornecendo alimento e abrigo para uma fauna diversificada. Em muitos casos, a polinização e a dispersão de sementes são feitas por grupos de espécies característicos – a arquitetura e a cor das flores e a forma e a consistência dos frutos, entre outras características, são direcionadas para a polinização e a dispersão de sementes por determinadas espécies animais, que acabam “preferindo” essas a outras plantas.

Assim, a estratégia de vida das espécies secundárias se baseia na relação mais próxima com determinadas espécies animais e na adaptação mais refinada ao nicho em que cada planta se insere, mantendo-se mais esparsas na paisagem e ocupando, com suas populações, diferentes ambientes.

Finalmente, as espécies climácicas são aquelas que tendem a se adaptar a ambientes que “já foram trabalhados” pelas espécies pioneiras e pelas espécies secundárias. Assim, são espécies que vivem em ambientes mais sombreados e onde o solo apresenta maior quantidade de matéria orgânica. Ocorrem, com maior frequência, em fundos de vale, em matas ciliares. Seu crescimento é relativamente lento, e árvores climácicas adultas chegam a ter de 30 a 45 metros de altura, ocupando em geral o dossel (ou “teto”) da floresta. Chegam a viver por mais de 100 anos, havendo uma tendência de produzirem frutos adaptados à alimentação por mamíferos e servindo como suporte para uma grande quantidade de espécies epífitas – aquelas que vivem sobre as outras usando-as como suporte físico. Em geral, produzem uma grande variabilidade de compostos secundários, que têm função de defesa contra o ataque de parasitas ou predadores. Por esse motivo, garantem sua sobrevivência em densidades variadas e em meio a populações de parasitas e herbívoros (Budowski, 1965; Kageyama & Gandara, 2000).

Considerando a existência da sucessão ecológica, o espaço de uma floresta apresenta, a cada momento, determinadas plantas de espécies mais velhas (geralmente, aquelas mais adaptadas ao momento anterior da sucessão), ocupando frequentemente estratos mais altos, e espécies em diferentes estratos do sub-bosque, em distintas fases de suas vidas. Há, portanto, uma diversidade vertical de espécies na floresta. Além disso, como as florestas se constituem em mosaicos de clareiras de diferentes tamanhos e idades, há também uma diversidade horizontal de espécies, gerando

e sendo produto de conjuntos de nichos ecológicos diferentes na área da floresta como um todo. Tanto a diversidade vertical quanto a diversidade horizontal são influenciadas pela diversidade de condições de solo, relevo, hidrografia, geologia e tantas outras condições abióticas. Estes diferentes fatores contribuem para a imensa biodiversidade das florestas tropicais.

Uma vez que a existência dos nichos ecológicos é dinâmica, ou seja, um nicho não existe o tempo todo e nem no mesmo espaço sempre, as plantas evoluíram para produzir uma grande quantidade de sementes e múltiplas estratégias de dispersão das mesmas. As angiospermas, ramo mais evoluído entre as plantas, em geral fazem isso muito bem.

O processo se dá em função de que nem todas as sementes produzidas atingem o solo, e nem todas as que atingem o solo encontraram condições imediatas para germinar. Para Lambers et al. (1998), a ocorrência de uma espécie é resultado de três filtros:

- o histórico, que age sobre as razões que determinam se uma espécie pode se dispersar para uma área específica;
- o fisiológico, apenas as espécies com aparatos fisiológicos apropriados possam germinar, crescer, sobreviver e reproduzir em um dado ambiente; e
- o biológico, que elimina espécies capazes de sobreviver em um dado ambiente, mas que não são capazes de suportar as interações com a biota local.

Como normalmente as sementes apresentam estruturas de proteção e de relativo isolamento com o meio exterior, o banco de sementes dos solos, em ambiente natural, é geralmente muito rico em espécies, especialmente espécies pioneiras, aguardando nichos ecológicos adequados para sua germinação.

Hall & Swaine (1980) registraram, em Ghana, cerca de 100 espécies florestais no banco de sementes, sendo 88% de espécies pioneiras. Garwood (1989), revisando trabalhos realizados em florestas tropicais da Malásia, Costa Rica e Venezuela, caracterizou a ocorrência de uma média de 300 sementes/m² de solo, de diferentes espécies. Em bracingais no sul do Brasil, Carpanezzi (1997) identificou de 90 a 190 sementes da espécie/m² de solo.

7.3. Dinâmica entre Nichos Ecológicos e Sucessão Ecológica

Na medida em que existe uma forte relação entre a ocorrência das espécies e a ocorrência de seus nichos, reforçamos a concepção de a sucessão ecológica ser uma sucessão de nichos, como já apresentamos na Figura 13. Seguindo esse raciocínio, uma vez que a formação de nichos é dinâmica e dependente da presença de conjuntos de espécies, pode-se conceber a sucessão ecológica também como a sucessão de consórcios de espécies, ou uma sucessão de situações em que determinadas espécies conseguem conviver bem umas com as outras, em encontros interespecíficos. Neste sentido, Hurlbert (1971) propôs que o conhecimento das probabilidades de encontros interespecíficos de cada espécie se constitui em uma ferramenta básica para o entendimento da estabilidade e da sucessão ecológica de uma comunidade.

As conhecidas “etapas” da sucessão ecológica (estágio inicial, médio e avançado de regeneração) não são estáticas, como “fotos” do processo sucessional. Há, na verdade, um fluxo contínuo, um “filme”, no qual as espécies vão desempenhando diferentes papéis no processo de sucessão ao longo de sua vida, modificando o ambiente e proporcionando que outras espécies tanto de vegetais como de animais e microrganismos se desenvolvam. Em uma floresta tropical, por exemplo, por mais que logo após a formação de uma clareira predominem as espécies pioneiras e que estas em seguida ocupem o dossel, abaixo delas já estarão plântulas de espécies secundárias e climácicas. Após um certo período de tempo, as pioneiras vão deixando o ambiente, pois seu nicho vai desaparecendo e novos nichos já estão formados, como resultado da ação das espécies e modificação das condições do meio.

Cada espaço da floresta contém um consórcio de espécies, com diferentes características e necessidades para adaptação, em diferentes idades. É muito importante considerar que cada indivíduo de árvore adulta não aparece adulto, mas sim foi ocupando seu nicho (o qual inclusive pode variar bastante) ao longo de seu desenvolvimento.

Se esta observação não for considerada, pode gerar caracterizações e práticas equivocadas. Um exemplo é a araucária (*Araucaria angustifolia*

(Bertol.) Kuntze), que por vezes tem sido caracterizada na literatura como espécie climática, pois ocorre em florestas em estágios avançados de sucessão. O fato de ocorrer, como planta adulta, nessas condições, não reduz a plasticidade da espécie, que germina e se desenvolve rapidamente a pleno sol e em condições de restrição hídrica, situações típicas dos Campos de Altitude do sul do Brasil, onde a espécie é comum. Além disso, mesmo dentro de uma floresta fechada, suas plântulas podem permanecer por vários anos mais baixas do que um arbusto, esperando condições de maior luminosidade para crescer. Assim, caracterizar a araucária como espécie climática ou de ocorrência em estágio avançado de regeneração, por mais que indique a sua condição de vida em florestas maduras, é uma classificação insuficiente para contemplar suas adequações de nicho ecológico em diferentes fases da vida, bem como os consórcios de espécies em que ela faz parte no “filme” da sucessão ecológica.

Cada consórcio de espécies influencia e é influenciado pelos nichos criados durante a mesma (Figura 15).

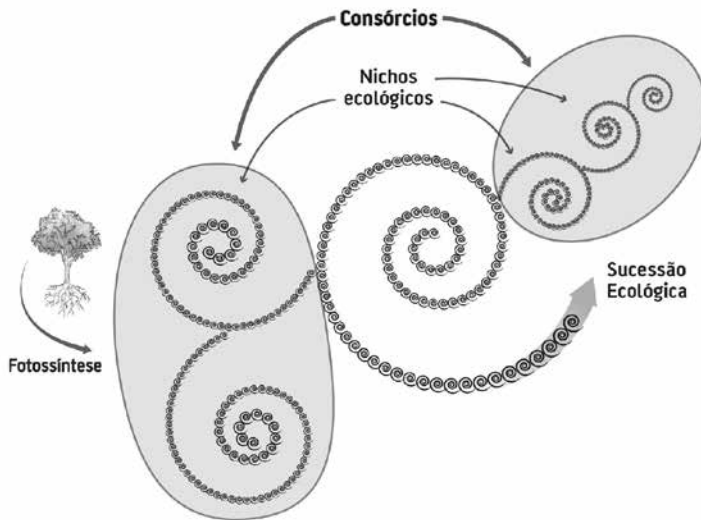


Figura 15. Representação esquemática da formação de consórcios de espécies a partir de conjuntos de nichos.

Entre um consórcio de espécies e outro, as espécies com maiores probabilidades de encontros interespecíficos são as que mais aceleram o ritmo de sucessão de uma comunidade (Hurlbert, 1971). Espécies que atuam

dessa maneira, ou seja, que contribuem de forma mais acentuada para a formação de novos nichos, são chamadas de “espécies facilitadoras” (Ricklefs, 2003). E, assim, quanto mais avançada a sucessão, mais complexas as relações ecológicas e maior a capacidade de auto-organização da vida (Figura 16).

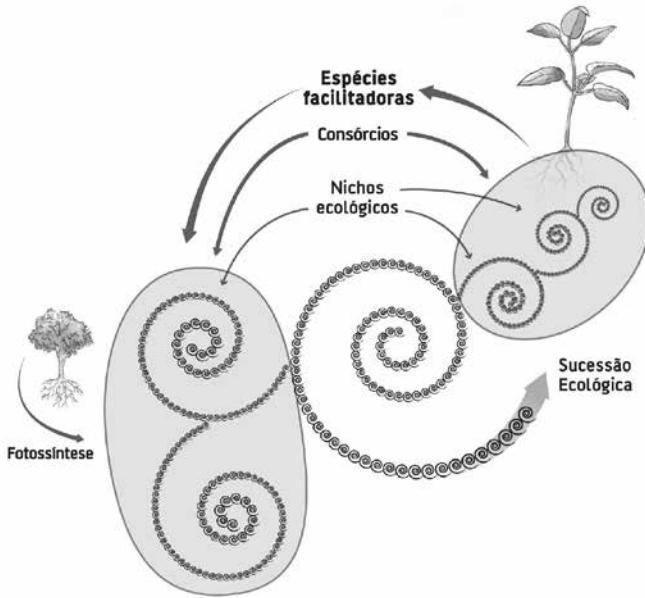


Figura 16. Representação esquemática da atuação de espécies facilitadoras na sucessão de consórcios de espécies e na formação de novos nichos ecológicos.

Após o trabalho de aceleração da sucessão ecológica realizado pelas espécies facilitadoras, sua saída do sistema, após novos nichos criados, não é instantânea. Espécies que facilitam as formações de novos nichos podem permanecer ainda alguns anos no sistema, saindo aos poucos, apesar de não estarem mais determinando fortemente a formação de novos nichos. Assim, nesse processo, as espécies facilitadoras vão deixando de existir gradativamente, enquanto outras espécies facilitadoras passam a atuar nos novos nichos formados.

Voltando ainda ao exemplo da bracatinga, podemos dizer que ela é uma espécie facilitadora no período inicial da sucessão, em uma clareira aberta. Ao apresentar grande densidade, crescimento rápido e elevada produção de flores e de sementes, contribui para o estabelecimento de várias relações ecológicas. Decorridos em torno de vinte anos, novos nichos são

criados e sua função como espécie facilitadora não tem mais sentido. Ela vai saindo aos poucos do sistema, o que ocorre a partir da senescência e morte gradativa dos indivíduos da população, durante um período que pode durar mais uma década. Neste período, outras espécies facilitadoras vão passando a atuar; então, é a saída da bracatinga – e não as relações ecológicas que seus indivíduos vivos mantêm – que se constitui em sua contribuição à sucessão ecológica.

8. O USO DO CONHECIMENTO DE SUCESSÃO ECOLÓGICA NA PRÁTICA AGROFLORESTAL

Na prática agroflorestal, o foco está no direcionamento aos processos necessários para que a agrofloresta se estabeleça. O manejo da sucessão ecológica é um desses direcionamentos.

No texto de Ernst Götsch de 1992, intitulado *Natural succession of species in Agroforestry and in soil recovery* (Sucessão natural de espécies na Agrofloresta e na recuperação do solo, em tradução livre), ele descreve seu próprio caminho na construção desta concepção de que o sucesso de um sistema agroflorestal está no seu mecanismo de estabelecimento e manejo. Este texto já tem mais de trinta anos e, ao longo desse período de tempo, Ernst desenvolveu várias técnicas para o manejo agroflorestal. Entretanto, o documento ainda é muito valioso para ilustrar o uso do conhecimento da sucessão ecológica na prática agroflorestal.

Quando estive na Costa Rica (entre 1979 e 1982), Ernst desenvolveu um programa de reflorestamento, utilizando a estratégia de cultivo em aleias (*alley-cropping*). Foram plantadas linhas de espécies arbóreas leguminosas, como leucena, ingá e eritrina, alternadas com linhas de árvores frutíferas, como banana, caimito, zapote etc. O espaço entre as linhas foi utilizado para culturas anuais (milho, feijão, mandioca e hortaliças). A partir do segundo ou terceiro ano, as árvores inibiam o crescimento das culturas anuais, sem substituir as mesmas em termos de produtividade.

Então, ele passou a combinar apenas quatro frutíferas arbóreas (banana, cacau, abacate e pupunha) com eritrina, ingá e outras leguminosas para sombreamento. Apesar deste sistema ter funcionado relativamente bem

em solos ricos, ele não funcionou em solos pobres, de pastagens abandonadas no sul da Bahia, onde passou a trabalhar.

Tentou, então, trabalhar para a melhoria destes solos empobrecidos, plantando primeiramente espécies pioneiras (mandioca, eritrina e ingá) que vão bem em solos pobres. Entretanto, somente a mandioca se estabeleceu, tendo se desenvolvido pouquíssimo. Um grande número de espécies pioneiras nativas, porém, cresceu vigorosamente nestas áreas. Ernst conta que, por isso, passou a fazer uma seleção dessas plantas, retirando do sistema apenas as plantas que já haviam amadurecido ou cujo espaço já havia sido substituído por espécies cultivadas. Nesse grupo de plantas, estavam gramíneas, herbáceas e trepadeiras. Todas as outras ervas nativas, árvores e palmeiras foram “autorizadas” a crescer e cumpriram sua função importante na melhoria do solo. As plantas cultivadas passaram a crescer bem na presença de espécies nativas. Essa percepção possibilitou o desenvolvimento da prática que ele passou a denominar capina seletiva (Götsch, 1992).

Aqui, é importante lembrar os filtros propostos por Lambers et al. (1998), descritos anteriormente. Muito embora as espécies plantadas por Ernst, neste relato, sejam classificadas como pioneiras, isso não significou que seriam estas pioneiras que se desenvolveriam bem naquele solo, nos nichos ecológicos existentes naquele momento e sob toda a combinação de condições de fertilidade, relevo, insolação e demais fatores abióticos. A percepção de Ernest sobre as espécies pioneiras que de fato tinham condições de desenvolvimento naquela área específica, por meio de suas estratégias reprodutivas características – ou seja, as espécies que ali passaram pelos filtros propostos por Lambers et al. (1998) –, foi fundamental para o enriquecimento da área.

A partir de então, Ernst procurou tirar o máximo proveito do potencial genético e biológico da flora e da fauna que ocorriam espontaneamente na área. No aspecto genético, ressaltamos as muitas plantas espontâneas nativas que, quando bem manejadas, são excelentes plantas companheiras. Quando jovens, elas estimulam o crescimento das espécies cultivadas e afastam pragas e doenças. No aspecto biológico, elas também protegem e melhoram o solo biológica, física e quimicamente. Estas espécies aumentam a matéria orgânica do solo, constituindo uma fonte valiosa de substân-

cias fertilizantes (Götsch, 1992). Em outras palavras, a ocorrência natural das populações de espécies nativas na área de cultivo favorece a complexificação das relações interespecíficas e a formação de novos nichos ecológicos, propriedades emergentes nos sistemas agroflorestais. Nessas relações e nichos, as espécies cultivadas podem participar, aproveitando o benefício mútuo da complexificação da auto-organização do sistema. Trazendo aqui o exemplo da Cooperafloresta, do total de plantas existentes nas agroflorestas de diferentes idades, 33% são provenientes de regeneração natural, sendo promovidas e manejadas nas agroflorestas (Steenbock et al., 2013b).

Voltando ao relato de Ernst, após dois anos de capina seletiva, ele observou que as plantas cultivadas mostraram sinais de redução do crescimento. Constatou que o crescimento de árvores e arbustos que haviam germinado na área dois anos antes passou a inibir o crescimento das plantas cultivadas. Quando estas árvores e arbustos de espécies pioneiras foram cortadas total ou parcialmente, a comunidade inteira foi revigorada, explodindo em crescimento. Ernst conta que foi assim que iniciou a prática da poda (Götsch, 1992).

Ernst relata também que, em locais com ocorrência de vegetação pobre ou de espaços abertos, implantou, desde o início, um grande número de espécies, em elevada densidade, em conjunto com frutíferas e espécies madeiráveis, as quais poderiam desenvolver bem nestas situações, visando a rendimentos de médio e longo prazo. Esta operação foi muito bem-sucedida, mas apenas nos lugares onde havia sido efetivada uma poda intensa dos indivíduos maiores da vegetação já estabelecida anteriormente ao plantio. Esta percepção levou Ernst a considerar que o fator crítico na determinação da taxa de crescimento e produtividade do sistema não é a qualidade inicial do solo, mas sim a composição e densidade de indivíduos de uma comunidade de plantas e a presença de uma geração futura de plantas, ou “espécies do futuro” (Götsch, 1992).

Conforme descrito anteriormente e a experiência relatada, a sucessão de espécies reflete a sucessão de consórcios, ou, dito de outra forma, a inserção de diferentes nichos ecológicos. Entre um consórcio e outro, a presença de “espécies facilitadoras” favorece mais acentuadamente a determinação de condições para o próximo consórcio. Quando este favorecimento já está estabelecido, o papel das espécies facilitadoras é sair do

sistema. A poda total ou parcial dos indivíduos maiores ou mais velhos, justamente aqueles que já cumpriram seu papel de facilitação, pode acelerar o processo sucessional, dando condições adequadas para o próximo consórcio.

Assim, a poda, além de favorecer a entrada de luz nos vários “andares” da agrofloresta, permite acelerar o processo sucessional.

A prática da poda pode ser resumida da seguinte maneira: árvores e arbustos quando maduros são rejuvenescidos pela poda; árvores e arbustos que já cumpriram suas funções de melhorar o solo e foram substituídos por indivíduos do consórcio sucessor são cortados e toda sua matéria vegetal é devidamente picada e bem distribuída sobre o solo, tomando-se o devido cuidado para que os tecidos lenhosos (galhos e troncos) fiquem em contato direto com o solo. Além da condição de maturidade do indivíduo, outros fatores também são considerados para a prática da poda, como a sua adequação na estratificação da comunidade. Deve-se atentar para a planta existente abaixo daquela que será podada, que irá substituí-la no próximo consórcio. Dessa forma, leva-se em consideração tanto a planta que vai ser podada quanto a planta que sofrerá as consequências dessa poda, já que a poda interferirá na disponibilidade de luz, espaço e oferta de matéria orgânica no sistema (Götsch, 1995).

9. O SOLO COMO RESULTADO DA PRÁTICA AGROFLORESTAL

Assim como o ecossistema agroflorestal, o solo é um sistema vivo. Ele é produto das relações entre os seus componentes: os minerais, os organismos e as plantas (Vezzani & Mielniczuk, 2011). As interações entre os componentes do solo são estabelecidas à medida que a energia e a matéria contidas nos vegetais servem de alimento para os organismos do solo (conforme relatamos no item 5. Energia: fluxo e eficiência). Ao utilizarem essa energia e matéria e excretando resíduos, os organismos fazem fluir tanto a energia como a matéria (nutrientes) e, com esses fluxos, o sistema solo se mantém e evolui (Vezzani & Mielniczuk, 2011).

Como sistema vivo, o solo reflete as práticas agrícolas e as relações que ocorrem no manejo das plantas. Ao manejar as plantas em uma agrofloresta, o homem está manejando o fluxo de energia e matéria que conduz todo o sistema para a complexificação da estrutura, como foi visto na descrição da Figura 6, e acionando os processos ecológicos, como vimos no item 3. O Papel da Fotossíntese.

9.1. Ação dos organismos do solo

Os responsáveis por fazer o fluxo ocorrer neste grande sistema solo-planta-organismos são os organismos do solo, que compreendem os microrganismos (bactérias, actinomicetos, fungos, algas, protozoários, vírus) e a fauna (ácaros, nematoides, aranhas, insetos, formigas, minhocas, centopeias, caramujos, camundongos). O número de organismos no solo é expressivo, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativa de número e de matéria viva de alguns organismos de um solo não cultivado sob condições tropicais. Dados apresentados em Lopes Assad (1997).

Organismos	Número estimado indivíduos por m ²	Matéria Viva estimada gramas
Bactérias	$10^{13} - 10^{14}$	$10 - 10^2$
Actinomicetos	$10^{12} - 10^{13}$	$10 - 10^2$
Fungos	$10^{10} - 10^{11}$	$10 - 10^2$
Nematoides	$10^8 - 10^{10}$	0,1 - 10
Ácaros	$1-3 \times 10^{14}$	0,1 - 10
Colêmbolos	$0,5-2 \times 10^5$	0,5 - 10
Larvas de coleópteros	$10 - 10^3$	$1 - 10^2$
Larvas de dípteros	$10 - 10^3$	0,5 - 10
Minhocas	$1-5 \times 10^2$	$0,1 - 10^2$
Térmitas	$10^2 - 10^5$	0,05 - 50
Formigas	$10^2 - 10^5$	0,05 - 50

Em relação ao tamanho do corpo, existem três grandes grupos de organismos edáficos decompositores, que são aqueles que utilizam as plantas como fonte de alimento. Essa classificação foi apresentada por Lopes Assad (1997) e está reproduzida na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação dos organismos edáficos decompositores em função do tamanho do corpo. Fonte: adaptado de Lopes Assad (1997).

Grupos	Tamanho
Microfauna	< 0,2 mm
Mesofauna	< 0,2 a 4 mm
Macrofauna	4 a 80 mm

A principal função dos três grupos é regular a dinâmica do carbono, que se traduz no fluxo de energia e matéria no sistema solo-planta. Por meio da rede alimentar, alguns organismos servem de alimento para outros e com isso a energia e a matéria oriundas da fotossíntese passam através do sistema.

Os macrorganismos alimentam-se diretamente dos resíduos vegetais e movimentam-se no solo, e, como consequência, são capazes de construir poros. Os mesorganismos alimentam-se dos microrganismos e habitam os espaços porosos do solo, muitas vezes formados pelos macrorganismos. E os microrganismos também se alimentam dos próprios microrganismos e de compostos orgânicos. Portanto, formam uma rede alimentar, e, por isso, todos os grupos regulam o fluxo de energia e matéria oriundo da fotossíntese.

Sendo assim, a ausência de um grupo compromete o andamento do fluxo, o que pode causar prejuízo e decomposição do sistema, pois as agroflorestas necessitam do fluxo para continuarem vivas.

Para que toda essa “engrenagem” entre plantas, organismos e solo continue a acontecer, a quantidade de matéria vegetal produzida precisa ser mantida. Mas não somente a quantidade deve constante, a variedade da fonte alimentar também é fundamental. Isto, porque, cada grupo de organismos é responsável pelo uso de um composto orgânico específico. Veja as reações de decomposição de alguns compostos orgânicos vegetais na Figura 17.

Observe na Figura 17 que em cada reação existe uma enzima específica (nome sobre a seta) que ativa essa reação. As enzimas são oriundas dos microrganismos do solo; portanto, para que todos os compostos orgânicos vegetais sejam utilizados e decompostos, uma grande variedade de enzimas tem que estar presente no sistema, ou seja, uma grande variedade de organismos. Para que todos esses organismos estejam presentes, é preciso ter alimento que estimule e promova o crescimento e o desenvolvimento de todos os grupos. E a fonte de alimento dos sistemas vivos, como vimos anteriormente, é a fotossíntese, na sua grande maioria, os vegetais. Desta forma, a diversidade de plantas determina a riqueza e a diversidade dos organismos do solo (Beare et al., 1995). Os sistemas agroflorestais conduzidos pelos princípios da sucessão ecológica atingem plenamente essa necessidade da rede alimentar no solo.

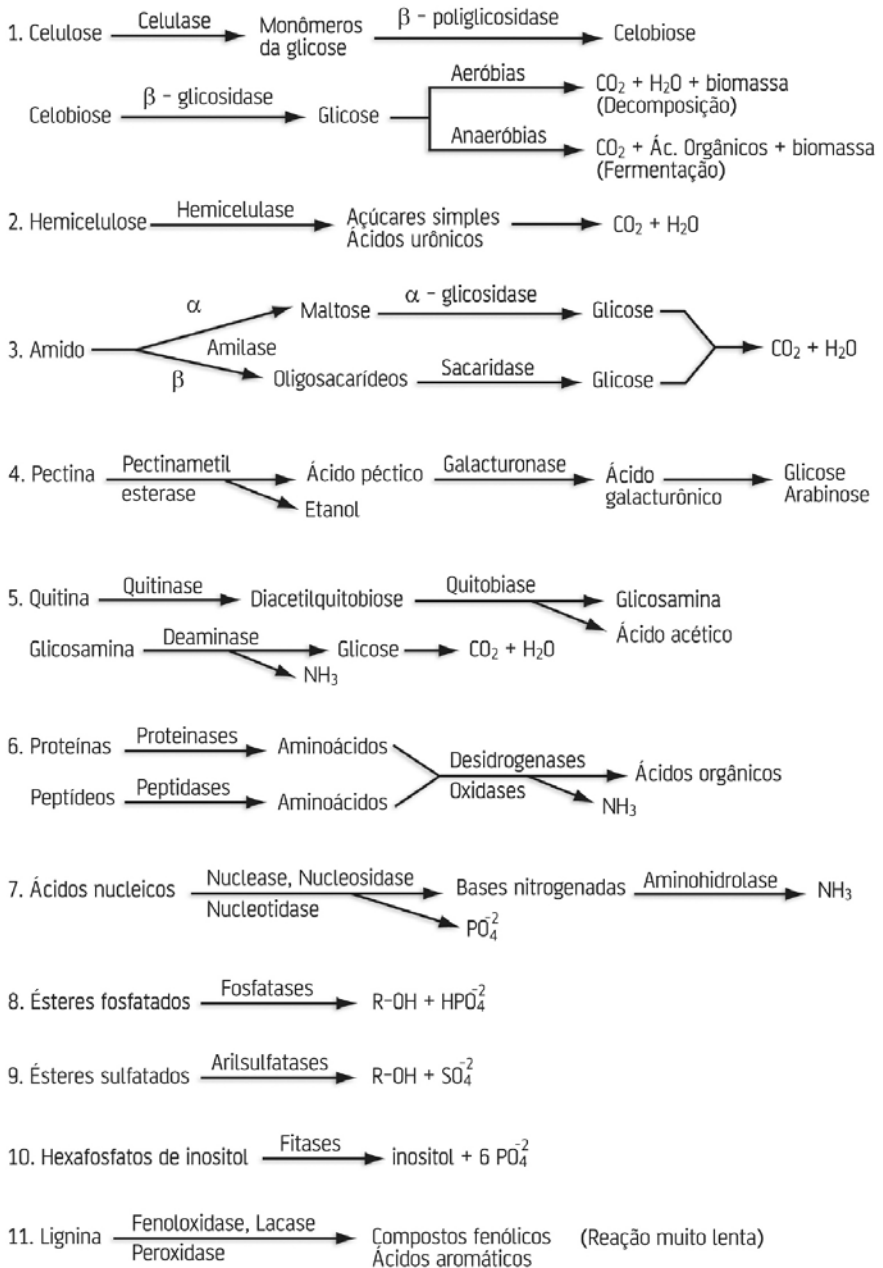


Figura 17. Transformações bioquímicas de compostos orgânicos mediadas pelos microrganismos e suas enzimas. Os nomes das enzimas estão sobre as setas.

Fonte: Siqueira & Franco (1988).

9.2. Matéria Orgânica do Solo: produto da relação plantas-organismos

O produto que resulta das relações alimentares entre a matéria vegetal e os organismos do solo é a matéria orgânica do solo. Ela é constituída de um espectro de compartimentos de material orgânico. Esses compartimentos vão desde partes do tecido vegetal (parte aérea e raízes) e organismos do solo em decomposição, exsudatos vegetal e animal até a matéria orgânica humificada, e ainda a biomassa microbiana do solo. Uma das características mais relevantes da matéria orgânica do solo é a sua capacidade de interagir quimicamente com nutrientes, compostos e minerais – fenômeno oriundo das suas cargas elétricas de superfície. Os compartimentos da matéria orgânica variam em quantidade de cargas elétricas, de acordo com as características de cada um.

Os diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo também variam em tempos de residência no sistema. Em ambientes de clima frio, Schmidt et al. (2011) apresentaram dados que informam o tempo médio de persistência da matéria orgânica do solo de 50 anos, com variações, dependendo do seu compartimento, entre 5 a 270 anos. Duxbury et al. (1989) propuseram os tempos de residência apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Tempo de residência dos compartimentos da matéria orgânica do solo.

Fonte: adaptado de Duxbury et al. (1989).

Compartimentos	Tempo de Residência anos
FÁCIL decomposição: folhas, raízes e exsudatos	0,25
RESISTENTE decomposição: matéria vegetal de composição complexa	n.d. ¹
Biomassa microbiana	0,25
Matéria Orgânica Particulada	---- ²
Substâncias Húmicas	1000

¹n.d. = não determinado pelos autores.

²O tempo de residência desse compartimento depende da proteção física dentro dos agregados do solo, que é controlada pela textura e mineralogia do solo e pela prática de revolvimento do solo.

As folhas, as raízes e os exsudatos são constituídos de compostos orgânicos de estrutura química mais simples, o que facilita sua utilização pelos organismos do solo. Por esse motivo, apenas em alguns meses, fo-

lhas, raízes e exsudatos já são consumidos (Tabela 4), e parte do carbono contido nesses compostos é incorporado à biomassa microbiana, outra parte torna-se matéria orgânica humificada, e ainda há liberação de CO_2 para atmosfera, como subproduto do processo de decomposição, e disponibilidade de nutrientes no solo, que poderão ser consumidos pelas plantas e/ou absorvido pelas plantas. A dinâmica de interligações e interdependências entre os compartimentos da matéria orgânica está demonstrada na Figura 18. Como todo sistema vivo, a matéria orgânica do solo é resultado das relações não lineares entre seus componentes.

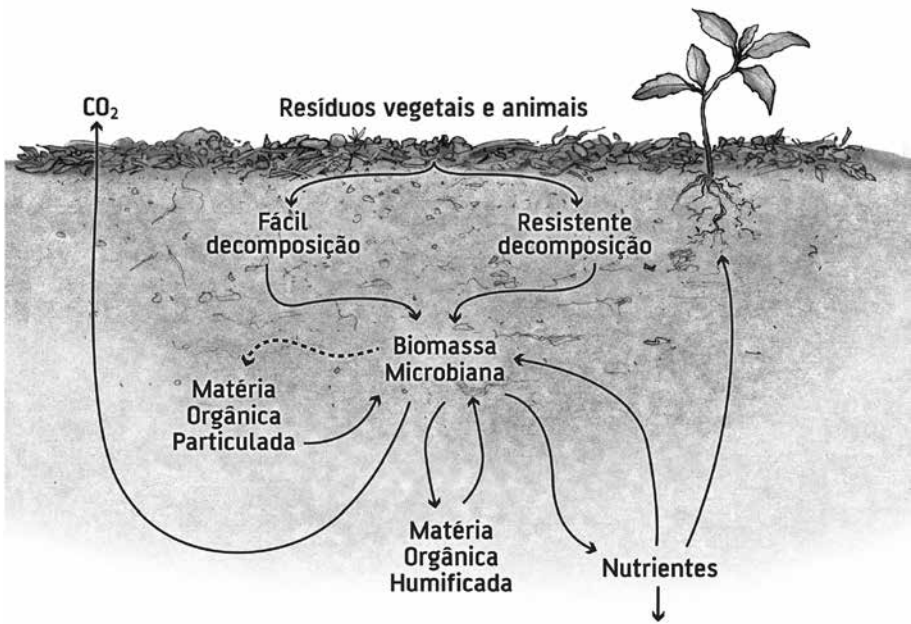


Figura 18. Representação esquemática da dinâmica da transformação da matéria orgânica do solo entre os diferentes compartimentos.

O compartimento resistente à decomposição é constituído por material vegetal de estrutura orgânica mais complexa. Essas estruturas vegetais podem perdurar por vários meses na superfície do solo (Tabela 4). É importante ressaltar aqui os galhos e os troncos oriundos do manejo das agroflorestas, que nessa dinâmica não são considerados matéria orgânica do solo, pois permanecem por muito tempo na superfície do solo em

processo de fragmentação dos seus tecidos pela fauna edáfica e só depois, então, iniciarão o processo de decomposição pela biomassa microbiana.

A biomassa microbiana necessita de compostos orgânicos como fonte de energia e carbono para a sua atividade e seu desenvolvimento. Ao utilizar carbono de todos os demais compartimentos, os microrganismos incorporam carbono na sua biomassa, constituindo-se, então, um dos compartimentos da matéria orgânica do solo. Além disso, ressaltamos, novamente, que a biomassa microbiana é o compartimento que faz circular a energia e a matéria no sistema solo-plantas-organismos. O ciclo de vida dos organismos é curto e rapidamente a população é renovada (Tabela 4).

O compartimento da matéria orgânica particulada é constituído por partes do tecido vegetal ou animal de fácil ou de resistente decomposição. A superfície desse material é colonizada pela população microbiana, que libera mucilagens e exsudatos como subprodutos do processo de decomposição das extremidades do material orgânico. Estes produtos do metabolismo microbiano, produzidos sobre a superfície da matéria orgânica particulada em decomposição, interagem com as partículas minerais isoladas ou agregadas do solo, formando verdadeiras cápsulas de material orgânico incrustado com minerais e/ou agregados. Em função de a interação entre compostos orgânicos e os minerais ser extremamente forte e o tamanho dos poros formados nesse processo ser menor que o diâmetro do corpo dos microrganismos (o que impede o acesso ao material pelos decompositores), o material orgânico permanece dentro dessa “cápsula”. O compartimento da matéria orgânica particulada se mantém estável até algum momento que um organismo consegue penetrar no espaço restrito formado pela interação organomineral ao redor do material orgânico. Portanto, como a decomposição da matéria orgânica particulada depende da dinâmica da vida no sistema, não é possível estimar seu tempo de permanência no solo.

Quando ocorre a entrada de organismos no interior da matéria orgânica particulada, o processo de decomposição segue o mesmo caminho do que acontece com as folhas, as raízes e os restos de organismos, ou seja, parte transforma-se em biomassa microbiana, parte transforma-se em matéria orgânica humificada, parte em nutrientes e parte em CO₂, como mostra a Figura 18.

A matéria orgânica particulada tem papel importante nas relações entre os compartimentos da matéria orgânica do solo. Ela promove a manutenção da atividade biológica, por ser fonte prontamente disponível de energia e carbono (quando a microbiota consegue acessá-la) e, consequentemente, o fluxo de energia e matéria e ciclagem de nutrientes. Além disso, a matéria orgânica particulada faz parte das estruturas maiores do solo (macroagregados), proporcionando o surgimento das propriedades relativas à estrutura física do solo e influenciando a porosidade – presença de ar e água no ambiente solo –, fatores essenciais para promover a vida dos organismos edáficos e a fotossíntese das plantas.

O compartimento da matéria orgânica humificada constitui-se pelos compostos orgânicos com elevado número de carga elétrica de superfície, que são formadas à medida que ocorre o processo de decomposição dos resíduos orgânicos. E, em função dessas cargas, estes compostos persistem no solo por fortes interações organominerais ou, até mesmo, por condições químicas do microambiente que impedem o avanço do processo de decomposição pela microbiota, como a acidez do solo. Pode ocorrer, também, a desconexão física entre os decompositores e as moléculas orgânicas, ou seja, os compostos orgânicos ficam em espaços no solo distantes fisicamente da comunidade decompositora. Esse caso é mais comum quando o material orgânico se desloca no perfil de solo junto com o fluxo de água, que se movimenta da superfície para a profundidade do solo ou para as suas laterais. O transporte do material orgânico no perfil de solo também ocorre pelo movimento dos organismos, que ao se deslocarem vão deixando seus resíduos (que são material orgânico). E, ainda, a adição de material orgânico em profundidade pelo sistema radicular mais profundo. Essa condição resulta em material orgânico em diferentes espaços mais profundos no perfil do solo, enquanto a concentração da biomassa microbiana que realiza a decomposição desse material está na superfície. Como consequência, a matéria orgânica humificada se mantém no sistema e essa permanência é uma propriedade emergente de alto valor, pois resulta na manutenção da matéria orgânica do solo.

As funções da matéria orgânica do solo estão relacionadas com sua propriedade de reatividade química, devido às suas cargas elétricas de su-

perfície. Os compostos de todos os compartimentos da matéria orgânica do solo possuem cargas elétricas, que executam os processos de:

- retenção de nutrientes para as plantas, organismos e outros compostos orgânicos e inorgânicos (como os agrotóxicos),
- interações organominerais (formando a estrutura física do solo) e
- inativação de compostos (pelo fenômeno químico de formação de complexos ou quelatos), inclusive os que são prejudiciais ao ambiente.

Nos solos das regiões tropicais e subtropicais, a matéria orgânica é a principal fonte de cargas elétricas negativas, atingindo o papel de ser o componente do solo protagonista a reter os nutrientes como cálcio, magnésio, potássio, nitrogênio na forma de amônio.

9.3. Funcionamento do sistema solo-planta-organismos

O funcionamento do sistema solo-plantas-organismos é resultado das relações entre esses componentes em um processo auto-organizador.

A Figura 19 demonstra o processo de funcionamento do sistema solo-plantas-organismos e a formação das estruturas do solo em nível cada vez mais elevado de complexidade. No nível menos complexo, o solo se auto-organiza em estruturas muito pequenas, que atingem um diâmetro em torno de 0,25 mm. Essas estruturas do solo são formadas por minerais, moléculas orgânicas e nutrientes, que estão interagindo entre si. O material orgânico oriundo do crescimento das raízes, dos organismos e dos resíduos vegetais da poda é o agente formador desses agregados, pois atua como um ligante entre dos constituintes.

É importante ressaltar que, no início do processo de estabelecimento agroflorestal (estado 1 na Figura 19), a quantidade de matéria vegetal da parte aérea e raízes produzida ainda é pequena e, conseqüentemente, a magnitude do fluxo de energia e matéria que entra no sistema solo é pequena. Outro aspecto importante neste estágio inicial da sucessão é o perfil de solo utilizado pelas plantas, e, conseqüentemente, os organismos do solo. Como as plantas são de baixo porte, o sistema radicular é mais superficial e o estímulo à biota edáfica e as trocas/relações entre os componentes do sistema solo-plantas-organismos se restringem à camada mais superficial.

Como visto anteriormente, em cada nível de complexidade da estrutura surgem as propriedades emergentes, que são a expressão das relações entre seus componentes (Vezzani & Mielniczuk, 2011). Nessa etapa inicial (estado 1 na Figura 19), onde a magnitude do fluxo de energia e matéria é baixo e o sistema radicular das plantas ainda é incipiente, as propriedades emergentes são:

- capacidade de armazenamento da água no solo, devido aos microporos que constituem os microagregados;
- retenção/absorção de nutrientes,
- retenção e/ou complexação de compostos que podem ser prejudiciais ao sistema e ao ambiente no entorno, e
- fonte de energia e matéria (alimento) para os organismos edáficos, devido ao conteúdo de matéria orgânica do solo.

A formação de estruturas do solo maiores que 0,25 mm, mais complexas e diversificadas, ocorre devido, principalmente, à ação mecânica das raízes e das hifas de fungos que vivem ao redor das raízes (e todo o ambiente resultante dessa interação) no entrelaçamento dos agregados menores que 0,250 mm. As raízes, ao desenvolverem-se e se manterem ativas, extraíndo solução do solo e liberando compostos orgânicos, somado aos fungos rizosféricos associados a elas, principalmente fungos micorrízicos do tipo vesicular-arbuscular e fungos decompositores de resíduos, executam a ação de entrelaçar mecanicamente os agregados menores do solo. O ambiente gerado em torno do sistema radicular é altamente rico em compostos orgânicos que exercem a função de liga (como se fosse uma “cola”), propiciando a estabilização dos macroagregados. Além disso, esses compostos orgânicos liberados pelas raízes são de fácil utilização pelos organismos edáficos responsáveis pelas reações bioquímicas de ciclagem e disponibilidade de nutrientes. Dessa forma, os macroagregados são formados por minerais, microrganismos, compostos orgânicos e inorgânicos e partes de tecido vegetal e de macrorganismos numa rede de relações não lineares, com alta quantidade de energia e matéria retida na forma de compostos orgânicos e nutrientes, e uma rede de micro e macroporos interconectados, caracterizando alto nível de complexidade (Vezzani & Mielniczuk, 2011).

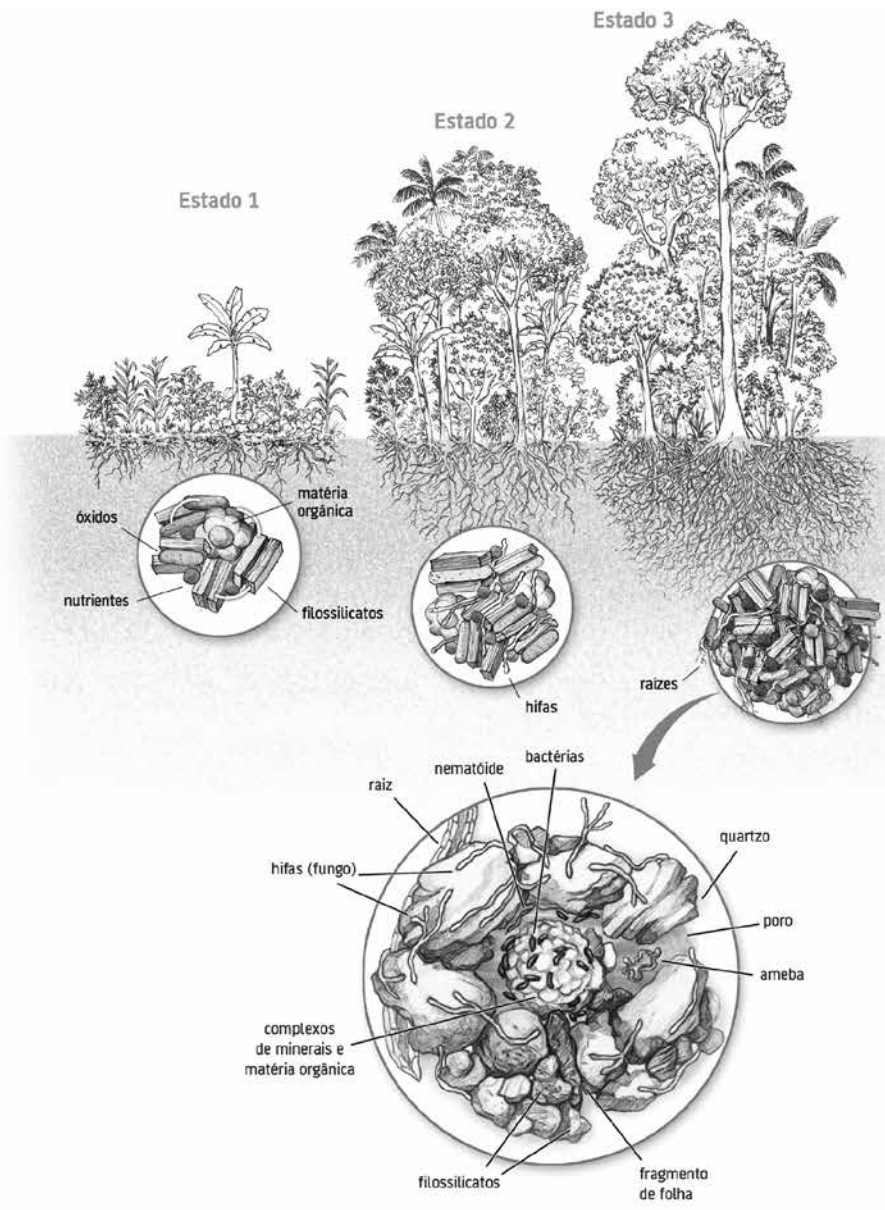


Figura 19. Representação esquemática da auto-organização do sistema solo-plantas-organismos em agroflorestas, indicando os estados de ordem em diferentes níveis de complexidade.

O estado 2, na Figura 19, caracteriza-se pelo aumento da riqueza e uso de diferentes estratos de luz pela vegetação, o que reflete no aumento da riqueza e estratos de uso do perfil do solo também, como um espelho. Estruturas de solo mais complexas são formadas como resultado da complexidade do sistema radicular e da diversidade da comunidade de organismos do solo. Nesse estágio, o conteúdo de matéria orgânica aumenta, gerando propriedades emergentes mais complexas e em maior número.

À medida que a estrutura vegetal se torna mais e mais complexa (estado 3 na Figura 19), a estrutura do solo também se torna mais e mais complexa, aumentando as propriedades emergentes e potencializando as funções ecossistêmicas. A propriedade emergente dessa condição de estrutura complexa, de uma forma ampla, é a melhoria da estrutura física do solo, aumentando a resistência à erosão hídrica e eólica. A presença de uma relação adequada de microporos, responsáveis pela retenção de água, e de macroporos, responsáveis pela drenagem da água e aeração do solo, promove:

- fluxos de água e ar adequados;
- maior retenção/adsorção de nutrientes e aumento do estoque dos mesmos no sistema;
- maior retenção/adsorção e/ou complexação de compostos orgânicos e inorgânicos, que podem ser prejudiciais ao ambiente, e, com isso, atenuando ou até inativando seus efeitos tóxicos ou poluentes;
- maior aumento de nutrientes para as plantas e organismos provenientes dos compostos orgânicos, os quais contêm elementos essenciais para as plantas em sua composição, resultando, também no favorecimento da biota do solo, pela maior quantidade de energia e carbono oriundos dos compostos orgânicos;
- maior promoção da ciclagem dos elementos químicos, pelo favorecimento das condições físicas e nutricionais à atividade dos microrganismos;
- aumento da diversidade da biota edáfica e do sistema solo, em função da maior quantidade de carbono, promovendo condições para o solo suportar estresses e servir como filtro e tampão ambiental;

- estoque de carbono, evitando a emissão de CO₂ para a atmosfera, e, assim, diminuindo o Efeito Estufa;
- resistência a perturbações e resiliência do sistema (Vezzani & Mielniczuk, 2011).

Portanto, para atingir esse estado de organização em que as propriedades emergentes são em maior número e com funções mais complexas, as raízes das plantas são fundamentais. As raízes, além de adicionarem energia e matéria, atuam fisicamente na construção da estrutura complexa. É importante ressaltar o grande potencial de adição de matéria orgânica particulada pelas raízes, considerando que esse compartimento da matéria orgânica do solo é fonte de carbono para os demais compartimentos (item 9.2. Produto da relação Plantas e Organismos: Matéria Orgânica do Solo), o que estimula que a matéria orgânica execute todas as suas funções no sistema.

Em função disso, o manejo nas agroflorestas é direcionado para aumentar a riqueza tanto no ambiente da parte aérea vegetal como das raízes, e em ambos os ambientes a finalidade é estimular diferentes estratos do perfil. A diversidade de plantas exerce contribuição pela parte aérea no que se refere ao uso dos estratos de luz, compartilhamento de recursos (radiação solar, precipitação), como vimos nos princípios da sucessão ecológica, e exerce contribuição pelas raízes também devido aos mesmos aspectos: uso dos estratos do solo, compartilhamento de recursos (água e nutrientes do solo) e a criação de um ambiente diverso e propício ao desenvolvimento da vida no solo.

10. O MANEJO DO SOLO AGROFLORESTAL

O manejo do solo agroflorestal deve refletir a prática de todos os aspectos teóricos que abordamos até aqui neste livro. Por isso, nesse momento, vamos recapitular, brevemente, o que vimos.

As plantas são responsáveis por adicionar energia que promove o funcionamento e autorregulação ao sistema agroflorestal. A energia e a matéria contidas nos vegetais servem de alimento para os organismos do solo. Os organismos, por sua vez, fazem fluir tanto a energia como a matéria ao utilizarem as plantas para seu desenvolvimento e excretarem como resíduos, e, com esse fluxo, o sistema agroflorestal se mantém e evolui.

Para que o fluxo de energia e matéria nos sistemas agroflorestais ocorra em magnitude e velocidade adequadas, é preciso promover e estimular a diversidade do cultivo de plantas. A maior riqueza vegetal promovida pelas agroflorestas proporciona a diversificação dos organismos vivos presentes e dos sistemas radiculares, que variam amplamente em arquitetura, magnitude, fisiologia, compostos exsudatos e associações com organismos. Nesse sentido, atuam de forma diferenciada nos processos ecológicos entre minerais do solo, plantas e organismos, favorecendo a dinâmica da estrutura biológica, física e química do sistema. Sendo assim, a diversidade vegetal potencializa as relações entre os componentes e, conseqüentemente, a formação de estrutura do sistema mais complexa, tanto acima como abaixo da superfície do solo.

Neste aspecto, é importante ressaltar o perfil de uso do solo nos sistemas agroflorestais. A estratificação vertical das plantas cultivadas em associação transfere o uso vertical para a profundidade do solo explorada. E, sendo assim, o fluxo de energia e matéria no sistema ocorre em maior área vertical, proporcionando que os processos ecológicos ocorram em perfil maior e potencializando o uso eficiente dos recursos do meio.

As árvores, por apresentarem sistema radicular mais profundo que as plantas de porte baixo, absorvem quantidades significativas de nutrientes de camadas mais profundas do solo e translocam para a parte aérea. Com a queda natural ou pela própria poda de folhas e galhos sobre a superfície do solo, os nutrientes oriundos de camadas mais profundas do solo agora são depositados na superfície (Glover & Beer, 1986; Young, 1989; Garrity et al., 1995). Este processo aumenta o estoque de nutrientes disponíveis nas camadas menos profundas do solo.

Assim, levando em conta os aspectos já discutidos, é importante ainda considerar que, em uma agrofloresta diversificada, o conjunto de raízes das diferentes plantas forma um compartimento especializado em solubilizar e acessar diferentes nutrientes para o sistema e contribuir para a estruturação física e para a vida do solo.

A cobertura e a proteção do solo nas agroflorestas é uma premissa importante para garantir a elevada umidade relativa do ar e a estrutura do solo, bem como para reduzir ao máximo a erosão. Dessa forma, procura-se movimentar o mínimo possível o solo, mantendo e amplificando os nichos ecológicos dos organismos edáficos e, conseqüentemente, a liberação de nutrientes para a sustentação e manutenção da agrofloresta. Para este incremento, a prática frequente e intensa da poda é fundamental.

Nas agroflorestas, todo o material podado é cuidadosamente picado e disposto sobre o solo, procurando otimizar o contato entre este material e a superfície. Com isso, a degradação da matéria vegetal é facilitada, contribuindo para a maior velocidade da sucessão ecológica do que nas clareiras de florestas nativas. Nas clareiras, a queda de árvores ou galhos não reflete imediatamente no contato entre estes materiais e o solo, levando muito mais tempo para que sejam utilizados pelos organismos edáficos.

A estrutura multiestratificada de raízes, a elevada densidade de plantas, a poda frequente e a disposição cuidadosa do material podado na superfície promovem condições adequadas de matéria orgânica no solo agroflorestal. Esta, além da importância como reservatório de nutrientes e de sua função na ciclagem de nutrientes, cumpre um papel fundamental como fornecedora de energia e matéria para toda a atividade da fauna e microflora edáficas, que, com sua atividade, transformam gradativamente

o solo, fazendo emergir novas estruturas com propriedades emergentes no sistema solo-plantas-organismos.

Penereiro (1999) avaliou essa transformação, comparando propriedades do solo em duas áreas em um mesmo tipo de solo e declividade semelhante, no sul da Bahia. Ambas as áreas eram pastos degradados 12 anos antes desse estudo. Em uma das áreas, foi implantada agrofloresta, e na outra ocorreu regeneração natural, que, no momento do estudo, estava em estágio médio de regeneração (capoeirão). Apesar de as quantidades de matéria orgânica não diferirem entre as áreas, os dados relativos aos teores de acidez e de nutrientes variaram significativamente, o que indica que houve diferença na natureza e/ou na dinâmica de decomposição do material vegetal. Na agrofloresta, o pH (em H₂O), que mede a acidez do solo, determinado na camada entre 0 e 5 cm, foi de 5,6, enquanto na área de capoeira, foi de 5,3. Na camada entre 5 a 20 cm, a agrofloresta apresentou pH de 5,4, e a capoeira, de 5,0. Ressalta-se que, agronomicamente, diferenças de 0,3 e 0,4 no pH ocasionam condições de acidez distintas que determinam ambiente mais adequado para o pleno desenvolvimento de uma ou outra espécie, tanto de planta como de microrganismos do solo. Os teores de cálcio e magnésio foram significativamente superiores na agrofloresta. Porém, o elemento que teve a variação mais surpreendente entre as duas áreas foi o fósforo, cujo teor na agrofloresta se apresentou, aproximadamente, sete vezes maior na camada entre 0 a 5 cm, e cerca de quatro vezes maior na camada entre 5 a 20 cm. Discutindo esses resultados, a autora desta pesquisa coloca que no ciclo do fósforo o papel dos microrganismos é fundamental, mineralizando as reservas de fósforo orgânico, dissolvendo fontes insolúveis de fosfatos inorgânicos e captando fósforo solúvel em regiões não alcançadas pelas raízes, transferindo-o para as plantas. A ocorrência natural de compostos orgânicos no solo (por exemplo, oxalatos) também pode ser importante nesse processo, já que promovem a quelatação do ferro, reduzindo a disponibilidade desse elemento para reagir com o fósforo (Jordan, 1990).

Lima (1994), analogamente, encontrou maiores teores de fósforo em sistemas agroflorestais da várzea amazônica do que em áreas de cultivo. Segundo o autor, isso confirma a capacidade destes sistemas de manter a fertilidade do solo com baixa exportação dos nutrientes, condicionada

pela manutenção de uma estrutura com vários estratos e pelo tipo de manejo, que permite a formação de uma densa camada de matéria orgânica na superfície do solo.

No âmbito da Cooperafloresta, foram realizados estudos de atributos biológicos, físicos e químicos do solo em agroflorestas de 5 e de 10 anos de idade, comparando-os com áreas que foram mantidas em regeneração natural, ou seja, áreas de florestas nativas em recuperação, por 10 anos. Tanto as agroflorestas quanto as áreas em regeneração natural eram anteriormente pastagens, em tipos de solo e declividade semelhantes (Neossolo Regolítico e declividade em torno de 40%).

Nas agroflorestas de 5 e 10 anos, uma avaliação qualitativa da fauna que vive na região da superfície do solo, por meio de armadilhas de captura, indicou 10.126 e 10.781 indivíduos, respectivamente; enquanto na área em regeneração natural, 8.597 indivíduos (Cezar, 2013). A riqueza de espécies da fauna não variou entre os sistemas, porém observa-se um favorecimento no desenvolvimento do número de organismos pelo manejo agroflorestal.

O tamanho da biomassa microbiana nas agroflorestas de 5 anos foi de 686mg de carbono por kg de solo na camada de 2,5cm superficiais do perfil (local onde ocorre a maior atividade biológica de decomposição de material orgânico e ciclagem de elementos), e a atividade dessa microbiota (medida pela liberação de gás carbônico [CO₂] para a atmosfera) foi de 3,7mg de carbono na forma de CO₂ por kg de solo em uma hora. Nas agroflorestas de 10 anos, na mesma camada de 0 a 2,5 cm do solo, a biomassa microbiana foi de 478mg de carbono por kg de solo e a atividade também foi de 3,7mg de carbono na forma de CO₂ por kg de solo em uma hora (Cezar et al., 2015). Esses dados indicam que as agroflorestas mais jovens são mais eficientes no uso do carbono do solo, pois com a mesma atividade incorporaram mais carbono em sua biomassa. Esse fato é relevante para os sistemas agroflorestais, pois indicam a grande capacidade de promover a vida no solo e a consequente execução das suas funções, mantendo o sistema ativo e produtivo.

Os dados de decomposição de folhas da serapilheira dessas áreas confirmam a dinâmica das agroflorestas mais jovens, que refletem as práticas do manejo mais intenso. Nas agroflorestas de 5 anos, a taxa de decompo-

sição foi de 213mg por grama de folha em decomposição por dia, tendo um tempo de meia-vida no sistema de 33 dias, enquanto a taxa de decomposição nas agroflorestas de 10 anos foi de 186mg por grama de folha em decomposição por dia e tempo de meia-vida de 37 dias. A regeneração natural teve taxa de decomposição de 181mg por grama de folha em decomposição por dia e tempo de meia-vida de 38 dias (Schwiderke, 2013).

As propriedades físicas do solo, que muito se relacionam com a atividade da vida, demonstraram alta capacidade de condutividade da água no solo das agroflorestas na camada superficial de 0cm a 10cm. Os valores foram de 1.480mm por hora para as agroflorestas de 5 anos e 1.930mm por hora para as agroflorestas de 10 anos (Shtorache, 2013), muito mais elevados que, por exemplo, dados apresentados por Lima et al. (2008) em culturas anuais no sistema plantio direto de 4,39mm por hora. Os dados de alta condutividade hidráulica do solo nas agroflorestas são confirmados pela macroporosidade na camada de 0cm a 10cm, que foi de 0,33 e 0,32 metro cúbico de poros por metro cúbico de solo para a agrofloresta de 5 e 10 anos, respectivamente. Valores muito superiores a 0,10 metro cúbico de poros por metro cúbico de solo, limite considerado crítico, onde abaixo do qual ocorre prejuízo à produção agrícola (Ferreira, 2010), pois compromete o adequado suprimento de oxigênio para as raízes e organismos e para a drenagem de água no perfil. Esses resultados são reflexos do sistema radicular das árvores que constroem bioporos interconectados no perfil. Quando essas raízes entram em decomposição pelo processo de renovação das plantas, o espaço que elas ocupavam torna-se poros condutores de água e ar no sistema, oferecendo condições para o desenvolvimento de mais vida. Além, é claro, das raízes adicionarem energia e carbono para os organismos do solo em camadas mais profundas, o que favorece a atividade biológica e a incorporação de carbono em profundidade.

Na camada de 0cm a 60cm, que, no caso desse Neossolo Regolítico é todo o perfil do solo, o estoque de carbono não variou, sendo que as agroflorestas de 5 anos apresentaram 123 toneladas por hectare, as de 10 anos apresentaram 125 toneladas por hectare, e as áreas em regeneração natural, 122 toneladas por hectare (Schwiderke, 2013). Porém, o estoque de fósforo em agroflorestas de 5 anos de idade foi de 19,5 kg por hectare e em agroflorestas de 10 anos foi de 20,9 kg por hectare, enquanto as

áreas de regeneração natural por 10 anos foram de 16,6 kg por hectare (Schwiderke, 2013). Esses dados são interessantes, pois existe retirada de matéria vegetal das agroflorestas na forma de produtos para consumo e venda e, mesmo assim, o estoque de carbono se mantém em nível similar às áreas de regeneração natural, onde não há retirada de carbono na forma de produtos vegetais. Além disso, de forma análoga aos estudos de Lima (1994) e de Penereiro (1999), citados acima, ressalta-se a importância da dinâmica do fósforo no solo das agroflorestas. Com os mesmos estoques de matéria orgânica, o conteúdo de fósforo é relativamente maior no solo sob o manejo agroflorestal.

Na medida em que as propriedades biológicas, físicas e químicas do solo são interdependentes (Vezzani & Mielniczuk, 2011), a similaridade dos ambientes de solo entre agroflorestas e florestas nativas em regeneração identificadas nos levantamentos realizados se torna mais evidente. Os resultados indicam que o manejo de solo agroflorestal, tendo como premissa os aspectos ecológicos apresentados anteriormente, torna possível a produção de alimentos, medicinais e fibras em harmonia com os processos de sucessão natural e o fluxo de energia e matéria no solo, confirmando a proposição sobre a capacidade dos sistemas agroflorestais como sistemas de produção conservadores dos bens naturais em um processo autorregulador.

11. OS CAMINHOS DA BIODIVERSIDADE

Na prática agroflorestal, o manejo da luz, da fotossíntese, da poda e do solo tem como “produto” uma grande variabilidade de organismos vivos, ou seja, uma grande biodiversidade. Assim, entender mais detalhadamente alguns processos vitais associados à biodiversidade é fundamental para este manejo.

Há aproximadamente 3,5 bilhões de anos, surgiram as primeiras formas de vida na Terra. O estabelecimento de estruturas para codificar a organização da matéria e sua replicação gerou a possibilidade da vida se manter. Modificações nas estruturas de codificação passaram a gerar organizações celulares diferentes. Apesar de muitas dessas organizações não terem sobrevivido ou se replicado, aquelas que apresentavam alguma vantagem quanto à adaptação ao ambiente de algum nicho passaram a compor o quadro de biodiversidade cada vez maior ao longo do tempo.

Atualmente, o número de espécies, em termos planetários, é de aproximadamente 1,8 milhão de organismos diferentes, considerando somente os já classificados pelo ser humano (Heywood & Watson, 1997).

Para que haja diversidade, um dos aspectos fundamentais é a ocorrência de mutações no código genético e em seu funcionamento, de forma associada à ocupação do nicho ecológico de um indivíduo ou de uma população de determinada espécie. Caso este processo gere melhor adaptação, existe uma tendência de melhores condições de reprodução e continuidade da forma de vida em questão. Variações ambientais representam variações de possibilidades de adaptação. Assim, existe uma forte relação entre a biodiversidade e a variação de nichos ecológicos, conforme colocado anteriormente no item 7.1. Os Nichos Ecológicos e a Biodiversidade. Quanto mais espécies convivendo, maior a quantidade de nichos formados, e, quanto mais nichos, mais variabilidade.

É em florestas tropicais que essa variabilidade é mais perceptível. Ali, a maior incidência de energia solar promove maior fotossíntese global e, conseqüentemente, maior produtividade primária, ou seja, maior produção de matéria vegetal. Quanto mais matéria vegetal, mais energia, e maior a capacidade de sustentação de um grande número de espécies. Quanto maior a complexidade estrutural das florestas, maior a diversidade. Além disso, as maiores temperaturas e umidade nos trópicos geram condições favoráveis para o crescimento e a sobrevivência de numerosas espécies, e as taxas de fertilização cruzada são maiores nas plantas tropicais do que em zonas temperadas (Pianka, 1966; Ricklefs, 2003).

Independentemente das regiões do planeta, por trás da grande variabilidade de espécies existe sempre a contribuição dos mais variados ambientes. Agindo por dentro dessa grande variabilidade de espécies, existe uma imensa variabilidade genética, como uma “fábrica de variação”, possibilitando condições para a adaptação das espécies a diferentes nichos e, em médio prazo, promovendo o estabelecimento de novas espécies.

É em função destes aspectos que, hoje, o termo biodiversidade não é considerado apenas como um indicador do número de espécies. Envolve, além da diversidade de espécies, a diversidade genética e a diversidade de comunidades e ecossistemas (WRI/IUCN/UNEP, 1992).

A diversidade genética não depende só de mutações e da seleção dos diferentes ambientes para se estabelecer. Variações geradas por mutação em um determinado indivíduo podem ser levadas a outro indivíduo da mesma espécie ou a outros locais, por meio da migração dessa variação. Esta migração é também conhecida como fluxo gênico. Nos vegetais, a polinização e a dispersão de sementes são os principais responsáveis pelo fluxo gênico e é, dessa forma, que variações genéticas têm mais chance de se manifestarem e manterem seus efeitos, podendo ser selecionadas em diferentes ambientes.

Em florestas tropicais, a maior parte do fluxo gênico dos vegetais depende da contribuição de animais envolvidos na polinização e dispersão de sementes. Para contribuir com estes processos, os animais se alimentam de estruturas vegetais (frutos, néctar, pólen, etc.), possibilitando sua própria sobrevivência, reprodução e variabilidade.

Portanto, se existe uma contribuição da variação ambiental à biodiversidade, por meio da seleção de indivíduos mais adaptados a diferentes ambientes, a biodiversidade é também produto de um “esforço coletivo”, ou uma ajuda mútua entre diferentes espécies.

Quando as plantas, por razões anatômicas, fisiológicas ou de isolamento geográfico tendem à autopolinização ou à polinização entre indivíduos geneticamente iguais (o que é chamado de endogamia), a tendência é que se fixem determinadas características genéticas em uma população, em um dado espaço, ao longo do tempo.

A diversidade genética nas populações de uma determinada espécie pode vir ainda a decrescer, pelo chamado “efeito gargalo” ou deriva genética. A deriva genética significa redução da variabilidade genética em uma população na medida em que nem todas as plantas da espécie produzem flores, nem todas as flores produzem estruturas reprodutivas, nem todo pólen chega aos ovários, nem toda semente chega ao solo, nem toda semente que chegou ao solo germina, nem toda planta que germina fica adulta.

Aqui, os animais também atuam, pela predação ou parasitismo, eliminando flores, frutos, sementes ou plantas inteiras. Destaque para insetos e fungos, que são especializados em promover este efeito. Formando um conjunto de mais de 1 milhão de espécies – mais da metade do número global de espécies já classificadas –, várias espécies de insetos e fungos contribuem na adaptação de organismos vegetais, alimentando-se justamente daqueles que apresentam disfunções fisiológicas. Em situações de estresse hídrico, de luminosidade ou de desequilíbrio nutricional – o que é, geralmente, consequência de uma planta de determinada espécie estar fora de seu nicho ecológico adequado –, as plantas acabam mantendo uma grande quantidade de aminoácidos livres em suas estruturas celulares, reduzindo as ligações proteicas entre eles. Insetos e fungos, por terem dificuldades em quebrar proteínas em aminoácidos, acabam “preferindo” se alimentar de plantas com aminoácidos livres (Chaboussou, 1999).

Mesmo considerando a potencial redução da diversidade genética, em nível local, promovida pela autopolinização, pela polinização entre indivíduos geneticamente iguais e pelo “efeito gargalo”, essas forças acabam contribuindo para a diversidade global de genes e de espécies, pois condu-

zem a formação de populações geneticamente diferentes entre si, em diferentes locais. Em situações de não resistência a variações ambientais ou situações contínuas de não adaptação, contudo, podem ocorrer extinções locais das espécies.

Conforme exposto, a diversidade genética de uma determinada espécie vegetal, em suas várias populações, é resultado da ação das forças de mutação, seleção, migração, endogamia e “efeito gargalo”, permeadas pelas variações ambientais e de nichos ecológicos, bem como pela ajuda de animais (Futuyma, 2002).

A “ajuda mútua” entre animais e plantas não é, entretanto, a única contribuição do esforço coletivo de diferentes formas de vida para a promoção da biodiversidade. Cada indivíduo é produto da “ajuda mútua”¹ entre diferentes células, que por sua vez são produtos da “ajuda mútua” entre diferentes estruturas celulares. Além disso, muitos indivíduos dependem de uma estreita relação de ajuda mútua com outros organismos para sobreviverem.

Os seres eucariontes, por exemplo, ou seja, as espécies cujo núcleo da célula está envolvido por uma membrana (a membrana nuclear) foram, provavelmente, originadas a partir da simbiose entre duas células, de diferentes organismos. De origem semelhante é a presença de cloroplastos em células vegetais, ou de mitocôndrias em animais e vegetais (Yamamura, 1996). A presença de microrganismos no trato digestivo de insetos possibilita sua elevada resistência em situações de estresse nutricional; a evolução de espécies de vegetais superiores não pode prescindir da simbiose entre plantas pequenas e micorrizas; mamíferos herbívoros de grande porte não podem viver sem microrganismos atuando na digestão. De acordo com Price (1991), o número de espécies originadas destes tipos de “ajuda mútua” constitui provavelmente em torno de 54% das espécies atualmente

1 No início do século XX, o naturalista russo Piotr Kropotkin (Kropotkin, 2012; 1907) desenvolveu o conceito de ajuda mútua, ou apoio mútuo, como fator fundamental de evolução das espécies. Infelizmente, seja em função do protagonismo do darwinismo, (inclusive do darwinismo social, naquele período), seja pela reduzida integração de conhecimentos entre os blocos de países capitalistas e socialistas (que perdeu ao longo de quase todo o século XX), somente nos últimos anos os trabalhos de Kropotkin vêm sendo mais amplamente resgatados.

existentes no planeta. A hipótese da “ajuda mútua” ou da simbiose como um dos caminhos da evolução foi proposta por Lynn Margulis na década de 1960, sendo atualmente conhecida como simbiogênese (Capra, 2005).

Em um nível mais amplo, a “ajuda mútua” gera efeitos imprescindíveis à vida coletiva. Sem insetos, por exemplo, realizando polinizações e predações, ou sem aves, morcegos e roedores dispersando sementes, provavelmente não haveria a exuberância das florestas tropicais. Sem bactérias fixadoras de nitrogênio, a formação de proteínas nos organismos terrestres seria inviável.

Sem florestas tropicais, ou sem os organismos dessas florestas, as condições climáticas seriam completamente diferentes e inadequadas à existência da vida. Isso porque a “ajuda mútua” entre os componentes da biodiversidade foi moldando, ao longo de bilhões de anos, as proporções exatas dos diferentes gases na atmosfera, o que por sua vez regula as condições adequadas de umidade, temperatura, luminosidade e de tantos outros fatores abióticos, em proporções e níveis precisos para a biodiversidade continuar existindo e evoluindo (Lovelock, 1988).

A biodiversidade, portanto, não é constituída somente pelas diferentes estruturas genéticas, de espécies e de comunidades e ecossistemas. As diferentes formas e estruturas dependem de uma imensa e variada quantidade de relações e processos vitais, que foram moldando e sendo moldados pela vida nos últimos 3,5 bilhões de anos. Conforme colocado no início desse livro, Primack et al. (2006) faz uma analogia da conservação da biodiversidade com a música, indicando que, para que haja uma sinfonia, não bastam os instrumentos, é preciso que eles sejam tocados em um conjunto harmônico.

Em meio a essa imensa complexidade, infelizmente, a influência humana tem sido em geral de desarmonia na orquestra da vida no planeta. Na história de 3,5 bilhões de anos de vida na Terra, os efeitos da presença humana passaram a ser mais expressivos nos últimos 10.000 anos e, especialmente, nos dois últimos séculos, após a Revolução Industrial. Em outras palavras, temos tocado sons distorcidos em uma sinfonia que vinha harmônica por muito tempo.

A drástica redução e modificação de *habitats*, a poluição, a sobre-exploração de recursos naturais e a disseminação de doenças têm sido apontadas como os principais fatores de redução da biodiversidade (Noss &

Csuti, 1997). O primeiro deles é, de longe, o mais impactante. Além dos efeitos diretos da destruição de ambientes naturais sobre a biodiversidade, quando são realizados desmatamentos ou outras formas de destruição de *habitats*, ocorre também a fragmentação das paisagens naturais. A fragmentação tende a interromper justamente a força microevolutiva mais efetiva para a promoção da biodiversidade – a migração ou fluxo gênico.

O efeito da fragmentação vai além das áreas desmatadas, influenciando as frações florestais adentro pelo chamado “efeito de borda”. Ou seja, a variação de insolação, ventos, umidade, ciclos biogeoquímicos e relações ecológicas, criada na borda entre os fragmentos e as áreas desmatadas, pode influenciar fortemente a biodiversidade no interior dos fragmentos que restam (Laurance et al., 2002).

Na primeira década do século XXI, mais de 13 milhões de hectares de florestas foram convertidos para outros usos no mundo (FAO, 2011). A extinção de espécies, hoje, é da ordem de 100 a 1.000 vezes maior do que em qualquer período geológico (May et al., 1995; Myers & Knoll, 2001). Assim, atualmente, as espécies têm sido extintas em um índice muito maior do que o de geração de novas espécies (Pimm & Raven, 2000). Além disso, justamente em função da importância da “ajuda mútua” entre os seres vivos, muitas vezes a redução de densidades populacionais ou a extinção de determinada espécie, em uma comunidade, afeta várias outras. Afinal, a vida funciona em padrões de redes dentro de redes, conforme já descrito, e reduções na complexidade dos sistemas vivos tendem à perda de relações e de comunicação entre seus componentes.

Se, em uma floresta tropical, uma população de bromélias é dizimada, por exemplo, perdem-se muitos pequenos ecossistemas, já que o acúmulo de água entre suas folhas é berço de várias espécies de anfíbios e de invertebrados; se uma população de palmeiros (*Euterpe edulis* Mart.) é retirada, uma grande quantidade de alimento, em forma de pólen e frutos, deixa de existir na comunidade, colocando em risco várias espécies animais que dele dependem; se matas ciliares são retiradas de uma paisagem agrícola, serviços ecossistêmicos próprios destas paisagens deixam de existir. A “ajuda mútua” é a expressão máxima da originalidade de cada organismo, atuando em seu nicho ecológico para a complexificação dos sistemas vivos.

12. O MANEJO DA BIODIVERSIDADE EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Considerando que a existência das diferentes formas vivas, em nível genético, de organismos e de paisagem são consequência da atuação das forças microevolutivas, de processos vitais e de relações ecológicas, o “fazer agroflorestal” busca aprender e reproduzir possibilidades para essa atuação, conscientemente.

Com o fazer agroflorestal, em meio à otimização de condições para a amplificação da biodiversidade, em conjunto com a amplificação da complexidade da estrutura e da fertilidade do solo e dos nichos ecológicos, é que se geram produtos de interesse para autoconsumo ou comercialização.

Conforme colocado anteriormente, já há algum tempo se sabe que uma das causas da maior biodiversidade nos trópicos é a maior produtividade primária nestas regiões (Pianka, 1966). Ou seja, quanto mais fotossíntese, mais matéria vegetal - quanto mais matéria vegetal, maior a disponibilidade de energia para sustentar uma maior variabilidade e quantidade de organismos.

É por este motivo que se busca a otimização da produtividade primária, desde o início da implantação de uma agrofloresta. O plantio de faixas de gramíneas entre os canteiros agroflorestais (exploraremos este assunto na Parte 2 desse livro) tem a função principal de “alimentar” a biodiversidade agroflorestal em seus primeiros anos. Quando se faz o manejo da poda, em agroflorestas mais maduras, o objetivo é “fabricar comida” para a agrofloresta. O material podado é cuidadosamente ofertado ao solo e a planta podada produzirá mais matéria vegetal, que será novamente utilizada em uma nova poda. Este manejo está alinhado com os proces-

tos de dissipação de energia que geram auto-organização da vida, como abordamos anteriormente. É a energia dissipada pela prática da poda que gera condições para o sistema complexificar a estrutura e evoluir em funcionalidade.

Outro conhecimento já consagrado na literatura científica é a relação entre a estratificação do ambiente florestal e a biodiversidade – quanto maior o número de estratos, maior a diversidade de organismos. A estrutura vertical da vegetação chega a se sobrepor à produtividade primária na determinação da diversidade local (Ricklefs, 2003).

O uso de recursos animais e vegetais destes diferentes estratos foi e ainda é comum em várias comunidades humanas que vivem em ambientes florestais. Os índios Kuikúro, no Alto Xingu, por exemplo, identificam oito estratos verticais da floresta, a partir dos recursos de caça e de coleta que estão presentes em cada “andar” (Carneiro, 1987). Os índios Kayapó, no baixo Xingu, direcionam o manejo florestal para a otimização da produção de espécies de interesse em cada um desses estratos (Posey, 1984).

No momento do planejamento da agrofloresta, é fundamental visualizar quais espécies poderão ocupar adequadamente os diferentes estratos em curto, médio e longo prazos. O plantio organizado e simultâneo dessas espécies é a ação principal para garantir uma agrofloresta o mais completa e produtiva possível, em seus vários “andares”, ao longo do tempo.

Todo o esforço de manejo, bem como a preocupação em garantir fornecimento de energia e matéria viva para a agroflorestal, são praticamente os mesmos em uma área com os estratos muito ou pouco ocupados. Na verdade, uma agrofloresta com poucos estratos ocupados tende a gerar mais esforço de manejo, especialmente de capina seletiva. Assim, erros de planejamento da estratificação, no momento da implantação da agrofloresta, podem acabar representando grandes custos energéticos.

No planejamento do plantio, além da preocupação quanto à estratificação, é muito importante a inserção de espécies que, em seu conjunto, possam participar em múltiplas relações ecológicas e processos vitais. Existem espécies “especialistas” em solubilizar fósforo no solo, outras capazes de se associar a bactérias fixadoras de nitrogênio, outras que alimentam um grande número de polinizadores, outras que fornecem frutos a uma grande quantidade de animais. A coexistência de múltiplas “capaci-

dades” de relações e processos tende a amplificar a quantidade de nichos ecológicos, incrementando a biodiversidade. Em outras palavras, quanto maior a variação de relações e processos no conjunto das espécies, maior a “diversidade funcional” da agrofloresta, pois maior o “funcionamento” do ecossistema em formação (Díaz & Cabido, 2001; Tilman et al., 2001).

Outro aspecto que se leva em conta no momento do plantio é “ofertar” ao ambiente agroflorestal uma ampla variabilidade genética de cada espécie implantada, considerando, especialmente, a pressão de seleção do ambiente e o “efeito gargalo”. Conforme já colocado, na natureza, as plantas produzem muito mais sementes do que o número de plantas que se tornam adultas. Faz-se assim, também, na agrofloresta. Planta-se uma grande quantidade de sementes de cada espécie, preferencialmente originadas de diferentes matrizes ou plantas mãe. Dessa grande quantidade, parte não germinará, outra parte germinará e será predada ou parasitada e outra parte ainda poderá ser retirada no manejo da capina seletiva ou da poda, caso seja adequado ao favorecimento da biodiversidade e à aceleração do processo sucessional. Aqui, é importante considerar também a potencialidade de diversidade de usos de cada espécie. De várias plantas de uma determinada espécie na agrofloresta, algumas serão direcionadas para produzir o produto de interesse, sejam eles frutos, flores, sementes ou folhas. Outras podem ser transformadas em adubo, em artefatos ou outros produtos ao longo de seu crescimento.

Finalmente, a retirada das plantas, ao final de seus ciclos de vida ou no momento em que a sucessão ecológica demande, favorece também a biodiversidade, na medida em que acelera a criação de novos nichos. Mais uma vez, percebe-se claramente, nesse processo, a capacidade da prática agroflorestal dissipar energia e auto-organizar o sistema em níveis de maior complexidade, criando condições adequadas aos processos vitais tanto acima quanto abaixo do solo.

Além do plantio adensado de um grande número de espécies, que irão ocupar diferentes estratos e serão manejadas para diferentes usos, a biodiversidade das agroflorestas é incrementada a partir da promoção de plantas úteis ao processo sucessional e ao incremento da diversidade funcional, que germinam naturalmente na área. Em outras palavras, “cabem” nas agroflorestas tanto as plantas que foram plantadas quanto aquelas que

vêm da regeneração natural, muitas das quais são cuidadas e promovidas intencionalmente.

Nas agroflorestas de agricultores associados à Cooperafloresta, foram identificadas 194 espécies de plantas arbustivas ou arbóreas, pertencentes a 59 famílias botânicas. Oitenta e nove por cento destas espécies são de ocorrência natural no domínio fitogeográfico do bioma Mata Atlântica, de acordo com o banco de dados do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (Steenbock et al., 2013b). Nestas agroflorestas, além de haver elevada diversidade vegetal, a densidade das plantas também é alta, em média 6.400 plantas por hectare. Estudos realizados em áreas de florestas secundárias nativas na região do bioma Mata Atlântica (capoeiras e capoeirões de diferentes idades) e que usaram metodologias e quantidade de área estudada parecidas com a usada no levantamento citado, foram identificadas, em geral, de 80 a quase 200 espécies, em densidades variando entre 1.000 e 3.000 plantas por hectare (Torezan, 1995; Siminski et al., 2011).

Assim, a diversidade de espécies de plantas nas agroflorestas do Alto Vale do Ribeira é semelhante ou maior do que em florestas secundárias nativas, no bioma Mata Atlântica. Além disso, as agroflorestas tendem a apresentar maior densidade de plantas. Essas características, em conjunto com outros aspectos relacionados ao manejo das agroflorestas, já comentados neste livro, fazem das agroflorestas sistemas produtivos com alta taxa de fixação do carbono atmosférico e crescente evolução da fertilidade do solo. Nesta evolução, em todas as fases, os processos de dissipação de energia e auto-organização da matéria se complementam em níveis crescentes de complexidade, como demonstra a Figura 20.

É importante lembrar aqui que, apesar dessas agroflorestas se constituírem na base da produção, da segurança alimentar e da renda dos agricultores associados à Cooperafloresta, a cobertura mais comum do solo das propriedades são capoeiras (florestas secundárias em estágio inicial e médio de regeneração), de diferentes tamanhos e idades.

De acordo com os relatos dos agricultores da Cooperafloresta, agroflorestas implantadas em áreas de capoeiras tendem a ser muito mais férteis e mais fáceis de terem todos os estratos ocupados. Por outro lado, os agricultores identificam nas capoeiras espaços de produção de sementes que serão, naturalmente, dispersas para as agroflorestas. Tam-

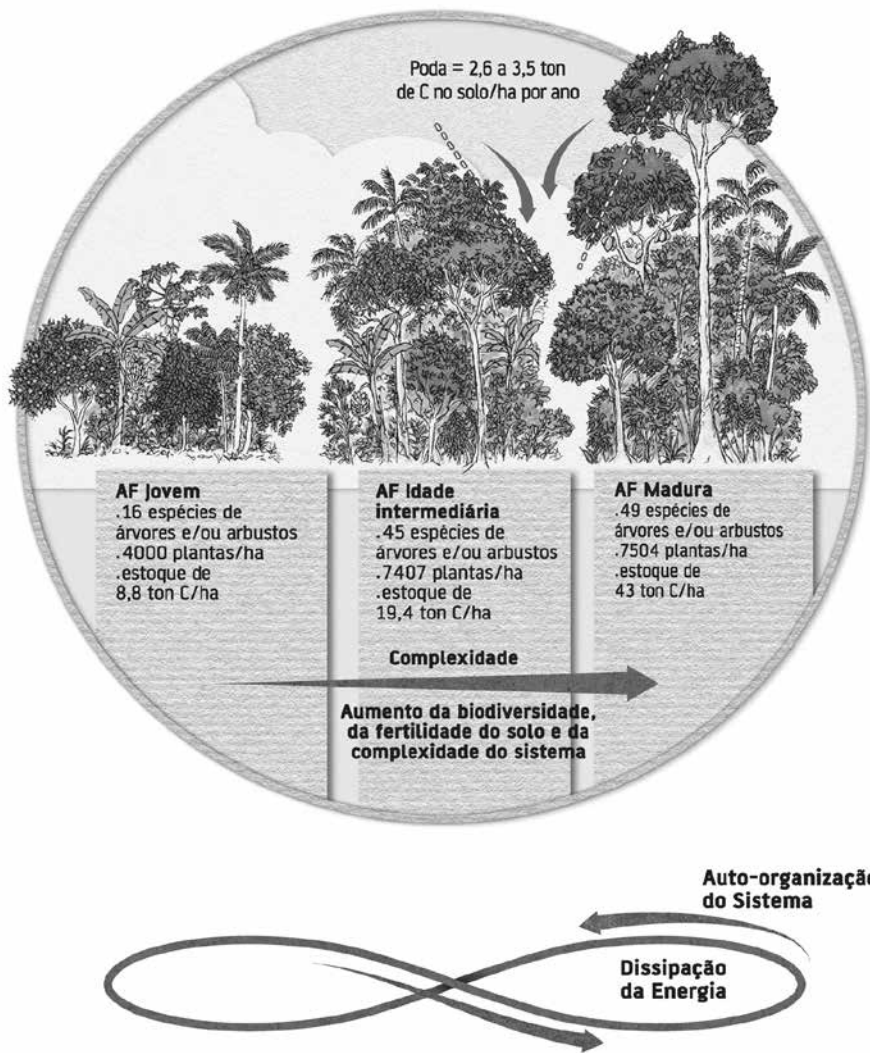


Figura 20. Evolução do número de espécies e de plantas por hectare (ha) e da quantidade de carbono (toneladas de carbono por hectare – ton C/ha) em agroflorestas (AF) de agricultores associados à Cooperafloresta, ressaltando a complementariedade dos processos de dissipação de energia e auto-organização do sistema em todas as fases de desenvolvimento das agroflorestas. Fonte: Steenbock et al. (2013c).

bém identificam, nestas áreas, espaços de vida de animais importantes para as agroflorestas, especialmente pássaros e abelhas, que trazem sementes e contribuem na polinização. Estas características são consideradas importantes para o aumento da diversidade e da produção das agroflorestas. Além disso, vários agricultores afirmam que semeiam nas capoeiras diferentes espécies, especialmente o palmito Juçara (*Enterpe edulis*), e, eventualmente, manejam espécies que ficam próximas às trilhas da propriedade (Steenbock et al., 2013a).

Deixar as capoeiras crescerem e enriquecê-las com “espécies facilitadoras”, portanto, faz parte do fazer agrofloresta, seja para manter matrizes, seja como fonte de fertilidade e espécies para uso futuro em agroflorestas a serem implantadas.

Aqui, é importante destacar o fato de que manter agroflorestas e capoeiras mescladas na propriedade, formando um mosaico de áreas manejadas e em regeneração, respectivamente, e de diferentes idades e tamanhos, é estratégia fundamental para a permanência do sistema de produção. É favorecer a dinâmica entre os processos de dissipação de energia e auto-organização, que geram vida, complexidade e evolução às agroflorestas. Na experiência agroflorestal, faz-se um “efeito de borda ao contrário”: agroflorestas e capoeiras, ao serem mantidas em um mosaico de áreas, contribuem umas com as outras com sementes, pólen, proteção contra o vento, cobertura florestal do solo e vários outros efeitos positivos para o aumento da biodiversidade e da conservação ambiental. Em outras palavras, as capoeiras e agroflorestas se entrelaçam, crescendo em valores ambientais por estarem próximas umas das outras (Figura 21).

Agora que já vimos os principais conceitos e dinâmicas do fazer agroflorestal, vamos passar para a parte de colocar a mão na massa.

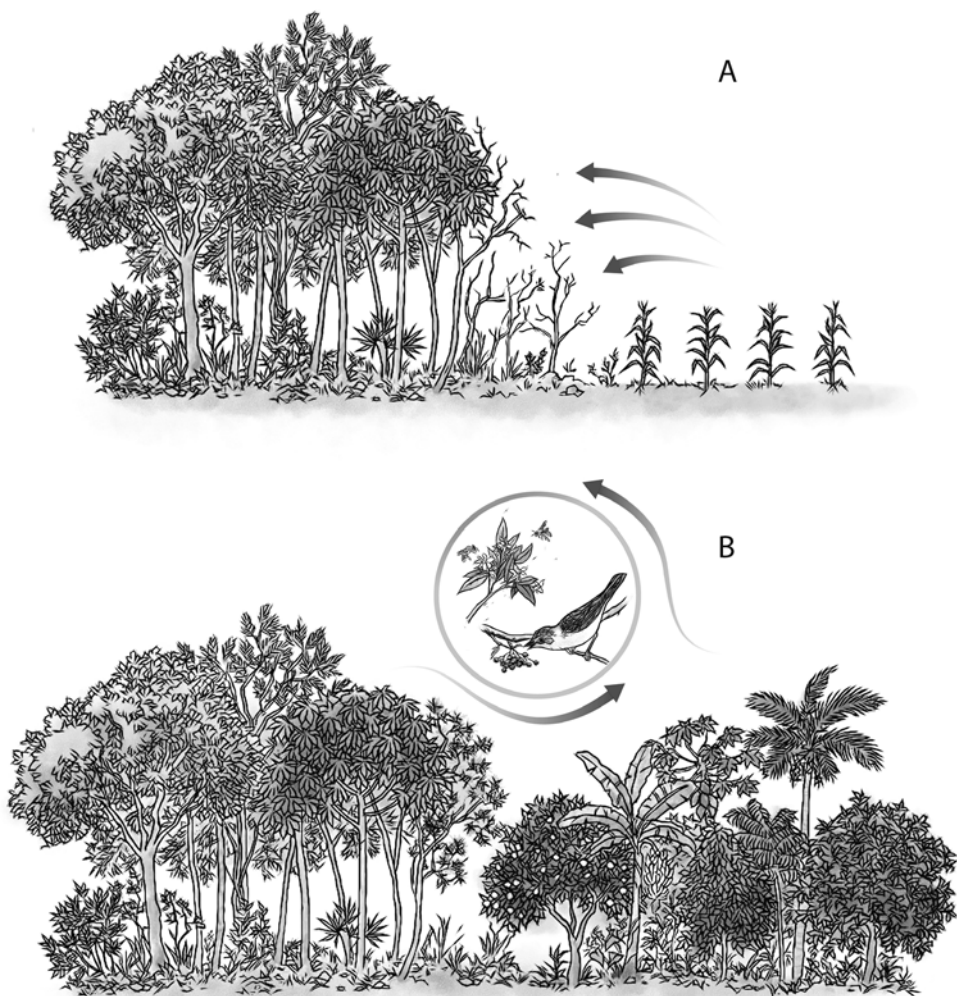
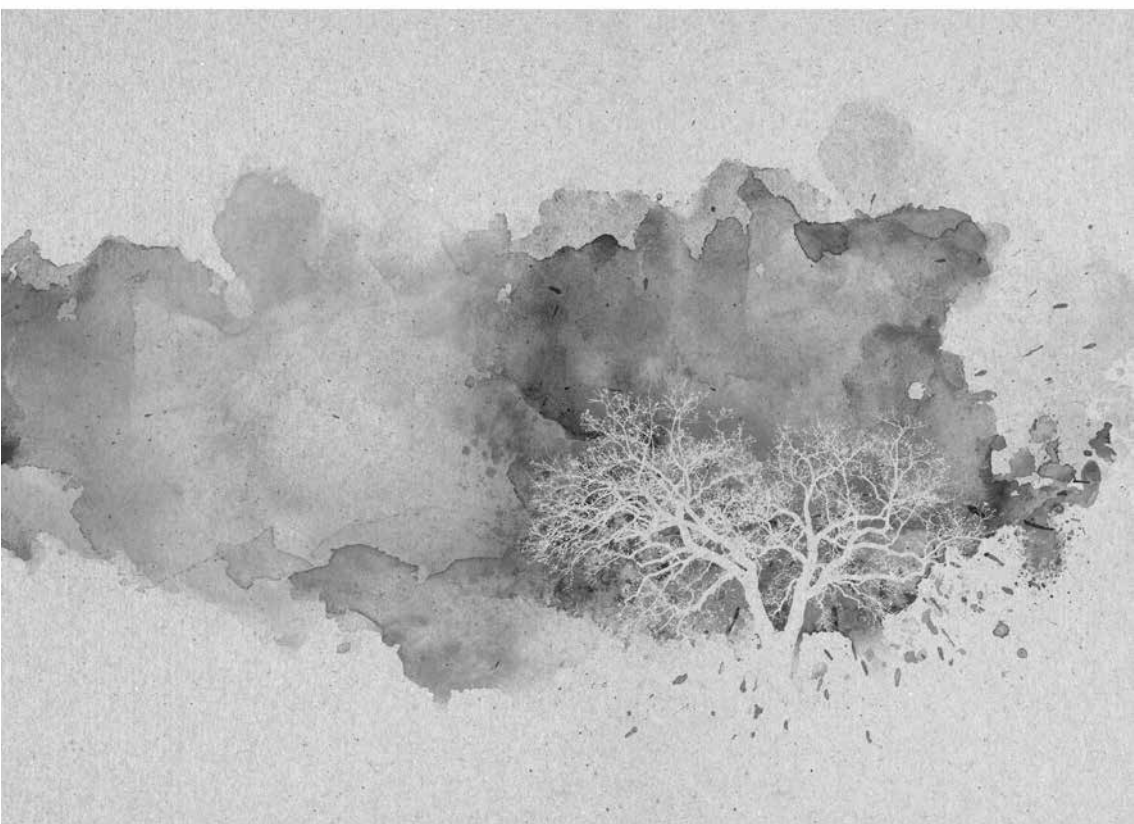
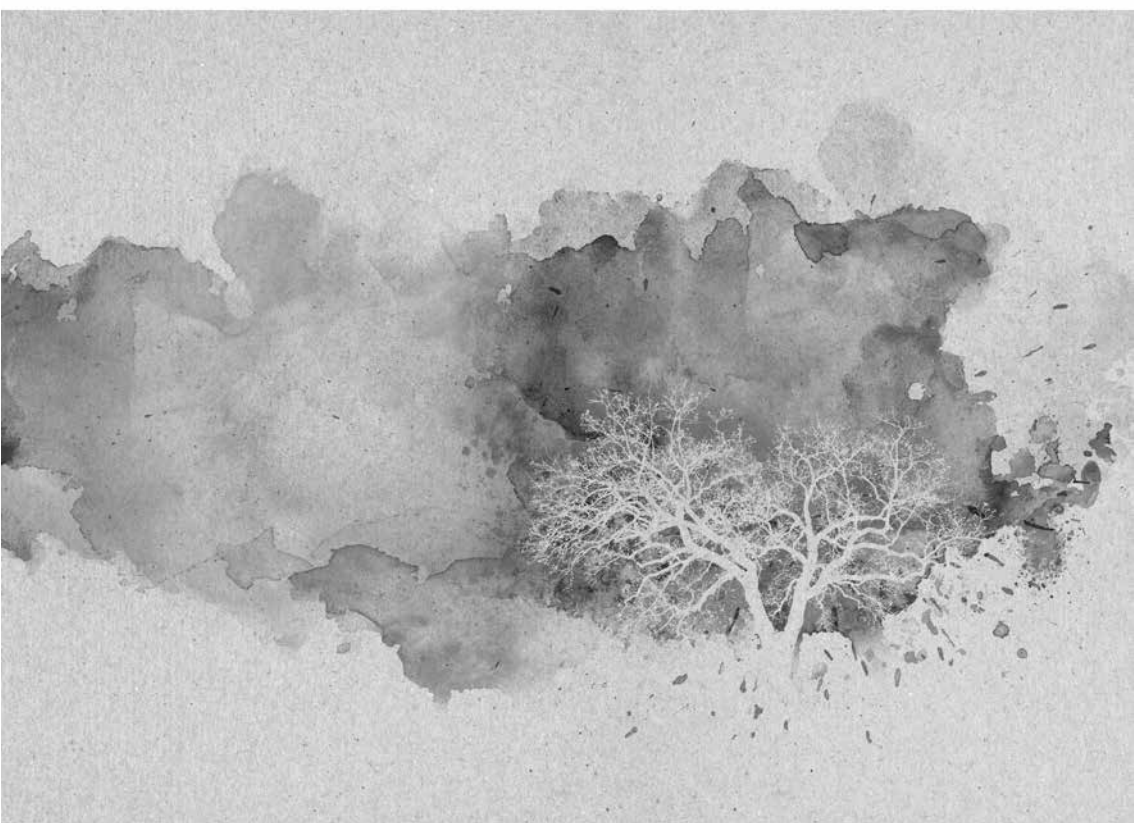


Figura 21. (A) Efeito de borda em remanescentes florestais em meio a áreas de agricultura convencional e (B) “efeito de borda ao contrário” em florestas contíguas a agroflorestas.



PARTE 2



LINHAS GERAIS PARA A PRÁTICA AGROFLORESTAL

Na primeira parte deste livro, foram discutidos brevemente alguns conceitos relacionados à ecologia, de forma aplicada à prática agroflorestal. Os conceitos são a base, a estrutura, de qualquer prática, direcionando as ações.

Entretanto, conceitos são diferentes de receitas e não há receita para o manejo agroflorestal. O necessário é o conhecimento e a percepção da dinâmica ecológica, que devem estar embutidos na prática agroflorestal em diálogo constante com a natureza no processo de intervenção.

Com base nessa premissa, o texto a seguir traz alguns aspectos relacionados ao método de implantação e manejo agroflorestal com base na experiência das famílias agricultoras e dos técnicos da Cooperafloresta, em Barra do Turvo (SP) e Adrianópolis (PR), Alto Vale do Rio Ribeira, em região de ocorrência do Bioma Mata Atlântica.

Apesar dessa experiência já estar quase completando três décadas, ela está em constante renovação, descobrindo sempre novas possibilidades de práticas de manejo. Por outro lado, a riqueza dessa experiência é muito maior do que é possível registrar em poucas páginas.

Além disso, as práticas aqui descritas também têm sido utilizadas e desenvolvidas em outras regiões e contextos, em especial por agricultores familiares e comunidades tradicionais.

Assim, o texto a seguir, que aborda seis aspectos da prática agroflorestal, não pode ser considerado uma referência completa de um processo produtivo consagrado, mas um roteiro geral, contendo apenas alguns aspectos importantes, a partir de uma experiência acumulada na prática agroflorestal.

13. IDENTIFICAÇÃO DO ESPAÇO PARA A PRÁTICA AGROFLORESTAL

13.1. Clima, relevo, solo

No processo de diálogo com o ambiente, o fazer agroflorestal não exige do mesmo um espaço diferenciado. Antes de tudo, é preciso perceber o que fazer em cada espaço. Para isso, é importante identificar características do solo, do relevo, do clima e da vegetação no local onde se implantará a agrofloresta. Nessa identificação, a questão central é compreender o que os processos vitais estão fazendo – e com que ferramentas – para o incremento de fertilidade e diversidade. Este incremento é realizado de forma coordenada, cooperativa e sequencial pelos consórcios de seres vivos que ocorrem em cada espaço. Cada consórcio tem aptidão máxima para viver e melhorar o ambiente na etapa em que ocorre naturalmente, durante a jornada da vida em direção à maior fertilidade e biodiversidade.

13.2. Vegetação em relação ao solo

Assim, a identificação da vegetação, em diferentes combinações, a partir das variações de características de solo e de relevo, é essencial.

Nas etapas iniciais da sucessão ecológica, a pequena capacidade de armazenar água e a falta de nutrientes no solo que regulam a atividade vegetal não possibilitam a captação máxima de energia solar; e mesmo se fosse possível serem adicionados nutrientes via insumos, a condição biológica do solo está aquém da capacidade de disponibilizar nutrientes em quantidades suficientes. Isto porque a comunidade microbiana que realiza as transformações bioquímicas que resultam em nutrientes na forma em que as plantas são capazes de absorver, está muito pequena e pouco rica nesse momento da sucessão ecológica. Neste contexto, a produção de matéria vegetal de baixa digestibilidade pelos microrganismos é impres-

cindível para o acúmulo da matéria orgânica que possibilitará o aumento da capacidade produtiva do ambiente. As plantas típicas destes consórcios iniciais produzem justamente este tipo de matéria vegetal, que se caracteriza por conter maior proporção de celulose nos tecidos, constituente com estrutura química de difícil conversão a açúcares simples pelos microrganismos, e por elevada quantidade de carbono em relação à quantidade de nitrogênio (Figura 22).



Figura 22. Produção de matéria vegetal em estágios iniciais de sucessão ecológica – tecidos vegetais com maior proporção de celulose.

Nas fases iniciais de sucessão, sejam elas iniciadas por uma clareira natural ou uma ação antrópica, plantas de espécies herbáceas aparecem em muito maior densidade do que espécies arbustivas, e estas em maior densidade que espécies arbóreas. Ao crescerem rapidamente e em alguns ciclos, depositam matéria orgânica no solo e criam condições para a ativação de diferentes consórcios de microrganismos. Assim, o ambiente do solo vai se modificando, a vida promove a construção dos agregados por adição de compostos orgânicos e ação das raízes e hifas de fungos, a porosidade aumenta e os fluxos de ar e água e a disponibilidade de nutrientes se tornam mais adequados ao desenvolvimento vegetal. Em estágios intermediários de sucessão, as espécies herbáceas, especialmente das famílias gramíneas e asteráceas (margaridas), já não existem em alta densidade, dando lugar a consórcios em que prevalecem arbustos e uma densidade um pouco maior

de plântulas de árvores. Na Floresta Ombrófila Densa da Mata Atlântica, esse é o momento em que espécies como o jaguarandi (*Boehmeria caudata* Sw.), a pariparoba (*Piper sp*) e outras espécies aparecem em maior densidade. O trabalho destas espécies cria condições, abaixo e acima do solo, para que consórcios, em que as árvores se sobressaem, possam existir.

Identificar que consórcios estão ocorrendo no ambiente de trabalho é fundamental para determinar práticas de manejo agroflorestal, visando “entrar no processo de sucessão” sem retroceder em suas etapas e sem artificializar condições do ambiente para forçar consórcios de etapas posteriores em curto prazo. Assim, é importante perceber quais espécies estão ocorrendo, quais as densidades das mesmas, quais suas formas de vida e suas características de adaptação ao ambiente.

13.3. Vegetação em relação ao relevo

É importante, também, perceber como variam os consórcios de plantas no relevo. Em ambientes declivosos, geralmente se acumulam solo e matéria orgânica em locais de microrrelevo côncavo. Nestes locais, consórcios vegetais típicos de etapas mais avançadas da escalada da vida se desenvolvem ao lado dos consórcios típicos de etapas anteriores, que estão estabelecidos nos locais de microrrelevo convexo. Ali, atraem e alimentam animais e estimulam consórcios de microrganismos do solo que aos poucos dinamizam e impulsionam a evolução de todo o sistema (Figura 23).

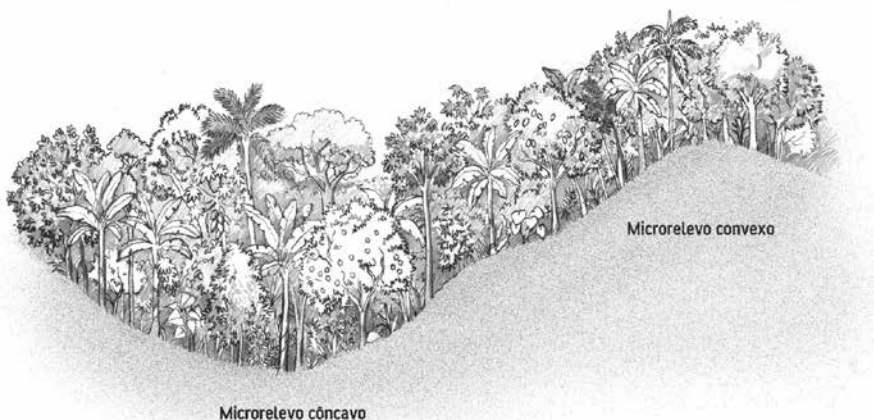


Figura 23. Variação de consórcios de diferentes estágios sucessionais na paisagem, em função de condições de relevo.

Em locais onde há maior quantidade de água armazenada no solo, os consórcios também se diferenciam, exibindo espécies herbáceas e arbustivas, frequentemente, com folhas maiores e criando condições para o aparecimento de árvores mais rapidamente, desde que não haja condições de excesso de água, impedindo a presença de ar no solo. Quando há este excesso, são outros os consórcios, e o aparecimento de espécies arbóreas é, em geral, mais lento.

A orientação do relevo em relação ao sol também determina variações nos consórcios de plantas. Locais em que há maior exposição à luz do sol (em várias regiões, chamados de “face”) tendem a apresentar processos sucessionais mais acelerados, pois têm mais acesso à energia solar e à fotossíntese. Locais mais sombreados, que recebem menor incidência luminosa (chamados de “contraface”), tendem a apresentar consórcios e espécies diferentes, e uma velocidade menor de sucessão destes consórcios (Figura 24).

A exposição maior ou menor da área à incidência de ventos influencia diretamente na manutenção da umidade no ar e no solo, o que afeta também a velocidade de sucessão e as características dos consórcios.

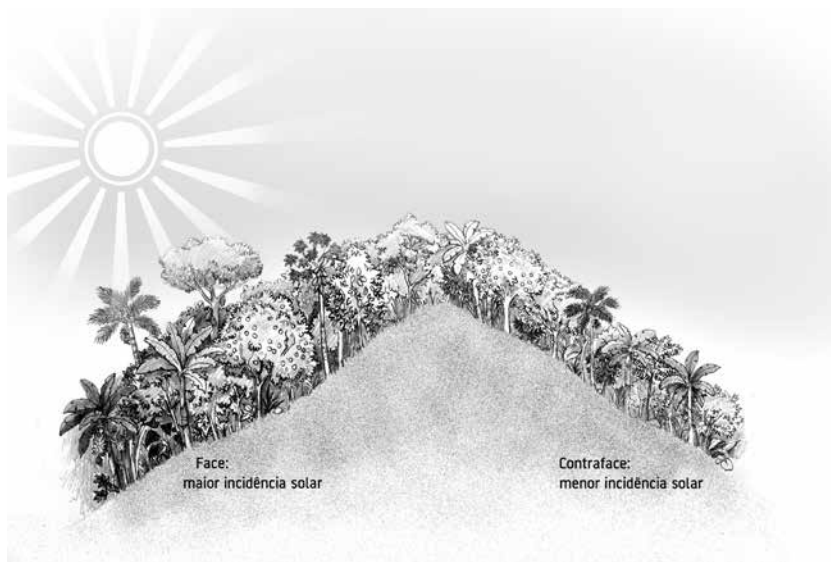


Figura 24. Variação de consórcios de diferentes estágios sucessionais na paisagem, em função de diferentes exposições do relevo à incidência de luz solar.

13.4. Vegetação em relação ao histórico de uso da área

No processo de perceber os diferentes consórcios de plantas que existem em cada local, identificar o histórico de uso da área também é fundamental. Estágios iniciais de sucessão em uma clareira, por exemplo, apresentam espécies e consórcios bem diferentes do que estágios iniciais de sucessão em áreas agrícolas. Nestas últimas, muitas vezes o uso do fogo, de agrotóxicos e/ou de máquinas pesadas terão “forçado” a desestruturação e a redução da fertilidade do solo, exigindo o trabalho mais intenso e por mais tempo de gramíneas, samambaias e asteráceas para a ativação da vida microbiana do solo e para o aparecimento de espécies adaptadas a estágios sucessionais mais avançados. Em uma clareira na floresta, as características edáficas e de umidade, assim como a riqueza do banco de sementes no solo, determinam uma maior velocidade de sucessão e características diferenciadas nos consórcios.

Agroflorestas implantadas em áreas que anteriormente eram florestas, ainda que em estágios iniciais de sucessão, tendem a ser muito mais produtivas e biodiversas, especialmente nos primeiros anos, do que agroflorestas implantadas sobre áreas que eram pastagens ou lavouras. Em levantamentos fitossociológicos realizados em agroflorestas no âmbito da Cooperafloresta, essa diferença pôde ser percebida comparando-se duas agroflorestas, conduzidas por agricultores diferentes, porém próximas uma da outra, com o mesmo tipo de solo e declividade e relevo semelhante. Ambas foram avaliadas com 6 anos de idade. Uma delas foi implantada diretamente sobre pastagem e a outra foi implantada sobre uma capoeira (floresta em regeneração) de 8 anos de idade, que cresceu sobre a pastagem, após a retirada do gado. A agrofloresta implantada sobre a capoeira apresentava estoque de carbono muito maior e incremento anual de carbono, além de uma grande quantidade de espécies nativas sob manejo de poda e rebrota. Além disso, a agrofloresta implantada diretamente sobre a pastagem também exigia muito mais trabalho de poda e deposição do material podado sobre o solo para o incremento da fertilidade (Steenbock et al., 2013b).

Assim como o histórico de uso, a proximidade da área em que vai se implantar uma agrofloresta a áreas florestais também influencia forte-

mente a disponibilidade de sementes e propágulos que irão se estabelecer, favorecendo o processo sucessional e incrementando a fertilidade.

13.5. Diálogo com a natureza

Portanto, “perguntar ao ambiente” as características de cada consórcio, em cada local, é fundamental para a implantação da prática agroflorestal, definindo especialmente onde e de que forma começar.

Além de obter respostas no próprio ambiente, é importante “perguntar ao conhecimento ecológico local” tudo o que for possível, no sentido de entender as ferramentas dos processos vitais em cada região, reconhecendo que este tipo de pergunta é feito constantemente por quem vive em relação mais direta com o ambiente natural. Agricultores em geral detêm um enorme conhecimento sobre os consórcios de plantas que ocorrem na região, sobre a adaptação de cada espécie cultivada a cada tipo de solo ou de relevo e sobre suas relações ecológicas, entre tantos outros saberes. Resgatar e promover este saber, na prática agroflorestal, é fundamental.

14. IMPLANTAÇÃO DE UMA AGROFLORESTA

14.1. Definir o tamanho da área a ser implantada

Uma vez identificadas as características ambientais do espaço para a implantação da agrofloresta, é importante dimensionar o tamanho da área a ser implantada. Para este dimensionamento, além das características do ambiente, é importante considerar a capacidade de mão de obra para o trabalho na área.

Na medida em que na prática agroflorestal a produção se dá tanto no espaço horizontal quanto no perfil vertical, é mais interessante otimizar o trabalho em áreas menores do que implantar áreas maiores em que o manejo deixe a desejar, por falta de tempo ou de mão de obra. Isso também possibilita a implantação de um conjunto maior de agroflorestas na propriedade, aproveitando as diferenças de consórcios, de solo e de estágios de sucessão para a amplificação da variedade de produtos produzidos.

Na experiência das famílias agricultoras da Cooperafloresta, esta premissa vem reduzindo o tamanho e aumentando o número das agroflorestas implantadas ao longo do tempo (Figura 25). Agroflorestas iniciadas há 12 anos têm área grande e foram feitas em pequena quantidade; agroflorestas jovens (de 0 a 4 anos de idade) tem área pequena e, hoje, são em grande quantidade. Enquanto o número de agroflorestas cresceu 605% em 16 anos, a área média das agroflorestas reduziu 52,4% (de 2,90 ha para 1,38 ha) nesse mesmo período.

14.2. Disponibilidade de sementes e mudas adaptadas ao ambiente

Na determinação do local e do tamanho da área a ser implantada, é de grande importância levar em conta, também, a disponibilidade de se-

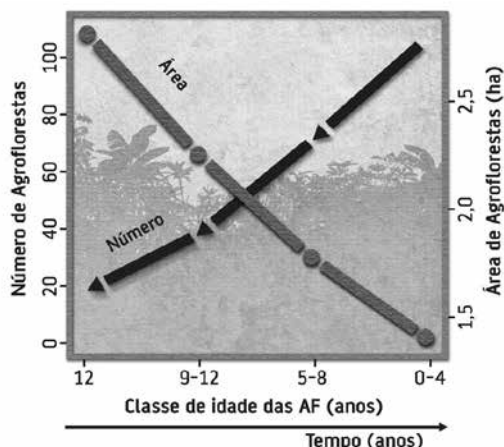


Figura 25. Área média (em hectare – ha) e número médio por classe de idade de agroflorestas (AF) dos agricultores associados à Cooperafloresta ao longo do tempo. Fonte: adaptada de Steenbock et al. (2013a).

mentos e mudas. Não vale a pena implantar áreas grandes tendo-se poucas sementes ou mudas disponíveis.

Entretanto, mais do que contribuir para a determinação do tamanho da área de agrofloresta que será implantada, a definição das espécies que serão plantadas deve ser a base do planejamento agroflorestal. Este planejamento deve refletir, com cuidado, o acúmulo de informações percebidas sobre o ambiente em que a agrofloresta será implantada.

Dessa forma, o planejamento das espécies deve estar baseado, em primeiro lugar, na aptidão das espécies de interesse para ocupar nichos e cumprir papéis ecológicos semelhantes aos de espécies nativas da região em seus diferentes consórcios. Assim, indivíduos de mamão (*Carica papaya* L.) podem ocupar nichos de indivíduos de embaúba (*Cecropia sp*); indivíduos de café (*Coffea arabica* L.) podem ocupar nichos de indivíduos de pariparoba (*Piper sp*); nichos de indivíduos de palmito juçara (*Enterpe edulis*) podem ser ocupados pelo adensamento da própria espécie. Assim, além de se produzirem espécies de interesse, mantém-se e amplia-se a diversidade funcional no espaço agroflorestal.

A origem das mudas e das sementes a serem usadas é um aspecto fundamental a ser considerado. A produção de diversidade é estratégia da natureza e, das plantas, é a geração de sementes com variabilidade genéti-

ca. Dentro desta ampla variabilidade, a natureza seleciona características genéticas adequadas a cada ambiente. Assim, é importante que, na medida do possível, sejam utilizadas sementes de várias matrizes da própria região – sejam de espécies nativas ou de culturas ou frutíferas comerciais – e, imitando a natureza, sejam plantadas muito mais sementes, manivas ou propágulos do que se espera que haja indivíduos germinados e adultos na agrofloresta.

Como cada microambiente, no qual a semente será depositada no solo, tem condições biológicas, físicas e químicas diferenciadas, e como cada semente contém, potencialmente, características genéticas diferentes, a combinação das características genéticas às diferentes condições é o que promoverá a germinação e o estabelecimento dos indivíduos. Por isso é grande a necessidade da “disponibilidade genética”, tanto na natureza quanto na agrofloresta.

À primeira vista, usar muito mais sementes do que se espera que indivíduos adultos sejam gerados pode parecer um contrassenso, ou algo que tende a aumentar o custo de implantação. Todavia, o custo de produção de mudas é imensamente maior e existe uma grande percentagem de perda de mudas, nas mais diferentes espécies, quando estas são levadas a campo, justamente por não adaptação ao microambiente natural em que são plantadas. Assim, na implantação agroflorestal, tende-se a priorizar o plantio por mudas daquelas espécies em que o plantio por sementes é pouco viável. É o caso de espécies frutíferas comerciais, tais como a lichia, os cítrus, o pêssego, a maçã etc., cujo “melhoramento genético” reduz ou inviabiliza a germinação a campo, em função da perda de rusticidade. Não se trata, contudo, de negligenciar o plantio por mudas – pode-se optar por esta forma de plantio também quando se pretende a realização de enxertos para a produção precoce de frutos, ou quando se deseja uma variedade específica, ou ainda por outras razões técnicas ou ecofisiológicas (a bananeira, por exemplo, não produz sementes; a mandioca e outras raízes e caules tuberosos dificilmente se estabelecem por plantios por sementes etc.).

14.3. Seleção de espécies a serem plantadas

A seleção das espécies a serem plantadas deve levar em conta o estabelecimento gradativo das mesmas em diferentes consórcios ao longo do

Tabela 5. Exemplo de planejamento de sucessão e estratificação agroflorestal.

CONSÓRCIOS					
Estratos	Aumento da diversidade e densidade de espécies de regeneração natural manejadas na agrofloresta →				
	Até 3 meses	Até 6 meses	Até 18 meses	Até 10 anos	Mais de 10 anos
Emergente	Crotalária, girassol, milho verde	Gergelim, milho, quiabo	Mamão, mamona	Bracatinga, cajá-mirim, chichá, fruta-pão, jacatirão, mamão, noz-pecã, pequi, tamarindo	Araucária, bacuri, castanha do Brasil, copaíba, jacatirão, noz-pecã, pequi, tamarindo
Alto	Brócolis, couve-flor, feijão-de-corda, milheto, sorgo, vagem-trepadeira	Beringela, couve, ervilha-torta, jiló, pimenta, pimentão, repolho, tomate, trigo	Alfavaca, guandu, mandioca, manjericão, maracujá, pitaia, yacon	Abacate, açaí, banana-nanica, banana-da-terra, banana-roxa, caqui, cedro, cupuaçu, cupuaçu, figo, graviola, guabiroba, jambô, jerivá, juçara, lichia, maçã, manga, oliveira, pitomba, pupunha	Abacate, araçá, babaçu, cagaita, caqui, cambucá, cedro, cupuaçu, figo, graviola, guabiroba, jambô, jerivá, juçara, lichia, maçã, manga, oliveira, pitomba, pupunha, sapoti
Médio	Acelga, alface, chicória, coentro, nabo, nabo forrageiro, rabanete, rúcula	Alho-poró, almeirão, batata, beterraba, cebola, lenoura, fava, linhaça, salsação	Abacaxi, Amora-de-espino, bardana, batata-salsa, inhame, mangarito	Abacaxi, amora, ameixa, banana-maçã, banana-pão, banana-prata, banana-ouro, cacau, carambola, erva-mate, goiabeira-serrana, laranja, lima-da-pérsia, louro, marmelo-português, nectarina, jaboticaba, pêssego, pata-de-vaca, pinha, ponkan, pitanga, urucum, uvaia	Abiu, cacau, canela-de-cheiro, cambuci, carambola, cuvata, goiabeira-serrana, grumixama, laranja, louro, mangostão, marmelo-português, miguel-pintado, nectarina, jaboticaba, pêssego, pata-de-vaca, pataste, pinha, ponkan, pitanga, uvaia
Baixo	Agrião, feijão preto, feijão carioca, vagem rasteira	Abóbora, amendoim, espinafre, feijão-adzuki, feijão-de-porco, hortelã, melancia, melão, salsação	Açafrão, batata-doce, gengibre, manjerona, poejo, orégano	Bacupari-miúdo, cabeludinha, café, limão-cravo	bacupari-miúdo, cabeludinha, café, limão-cravo, xaxim

tempo. No momento da implantação da agrofloresta, plantam-se todas as espécies ao mesmo tempo, mas não se espera que todas cresçam na mesma velocidade e nem que ocupem todas os mesmos estratos.

Cada vez mais tem sido utilizado um método simples de seleção de espécies para o plantio agroflorestal, baseado na visualização dos diferentes consórcios, nos diferentes estratos, ao longo do tempo. Este método consiste em usar uma tabela como está demonstrado na Tabela 5, onde as linhas representem os diferentes estratos e as colunas representam consórcios de diferentes classes de idade. Trata-se, portanto, de um planejamento de sucessão e estratificação da agrofloresta.

As espécies indicadas na Tabela 5 constituem apenas um exemplo. Utilizando-a como tal, é importante compreender que, apesar do planejamento de plantio vir a “localizar” as diferentes espécies em diferentes estratos e consórcios, todas as espécies são plantadas ao mesmo tempo. O café, por exemplo, ocupará o estrato baixo a partir de um ano de agrofloresta; diferentes espécies de citrus ocuparão diferentes estratos em diferentes idades da agrofloresta; porém, estas e todas as outras espécies constantes na tabela serão plantadas ao mesmo tempo.

14.4. Planejamento do plantio de todas as espécies ao mesmo tempo

Aqui, reside a arte e o conhecimento sobre os habitats, os nichos e as relações ecológicas, a velocidade de crescimento e as características de altura e arquitetura de cada espécie. É aqui, também, que reside a oportunidade de trazer ao espaço produtivo um número grande de espécies, que contribuirão para a diversidade funcional, para a segurança alimentar e para a diversificação da renda.

Proceder este planejamento, de forma a enriquecer a biodiversidade, é visualizar os diferentes estratos da agrofloresta ao longo do tempo. A produtividade da agrofloresta a ser implantada depende de um planejamento o mais preciso possível, e que leve em conta a diversidade de espécies em cada estrato e em cada consórcio. Por mais que sempre seja possível introduzir na agrofloresta novos indivíduos, de novas espécies, em diferentes épocas, um nicho ecológico desocupado ou ocupado por uma espécie de características semelhantes não pode ser preenchido imediatamente por

um indivíduo que vai ser implantado. Um nicho que poderia ser ocupado por uma laranjeira adulta, por exemplo, e está vazio ou ocupado por uma espécie menos interessante (do ponto de vista produtivo ou ecológico) não permanecerá naquele espaço esperando uma muda de laranjeira crescer. Se esta for implantada, quando se tornar adulta, o nicho ecológico naquele espaço ocupado por ela já será outro. Muitas vezes, quando uma agrofloresta é implantada sem um bom planejamento, a melhor opção pode ser renová-la. Quando isso é feito, disponibiliza-se uma enorme quantidade de alimento para a biota do solo (via poda drástica do material vegetal) e instala-se uma agrofloresta mais completa e mais bem planejada.

14.5. Preparo da Área: Capina Seletiva

Uma vez definido o local para implantação da agrofloresta e tendo as sementes, manivas, propágulos e mudas em mãos, é importante iniciar o preparo da área.

Como fazer agrofloresta envolve a facilitação do processo de sucessão ecológica, o primeiro passo na implantação é, em geral, a capina seletiva. A capina seletiva difere da capina convencional para limpeza da área, pois retira-se somente as plantas que já cumpriram seu papel na sucessão e precisam dar lugar a outras, e não todas as plantas da área.

Conforme já colocado, na natureza, a transição entre diferentes consórcios não se dá de forma abrupta, levando por vezes anos para acontecer. A proposta da capina seletiva é imitar esse processo. Faz-se a capina seletiva após entender quais espécies já cumpriram ali seu papel na sucessão, observando a área e tendo conhecido as características ambientais da região. Os indivíduos retirados são depositados sobre o solo, de preferência manualmente (Figura 26). É importante cuidar para que indivíduos de espécies com facilidade de “pegamento” sejam colocados sobre folhas ou galhos cortados na capina, evitando o contato direto com o solo e, consequentemente, sua regeneração. Caso a implantação seja realizada em uma área em estágio bem inicial de sucessão, por exemplo, em uma área coberta por braquiária ou outras gramíneas, a capina seletiva pode ter um elevado custo. Nestes casos, pode ser preferível iniciar com o plantio direto de outras gramíneas ou concentrar a implantação agroflorestal em núcleos

menores. Em agroflorestas a serem implantadas neste tipo de situação, especialmente em áreas relativamente grandes, pode-se optar pelo preparo do solo com gradeamento leve e/ou subsolagem mecanizada.



Figura 26. Capina seletiva para implantação de agrofloresta.

Para potencializar a capacidade de fotossíntese no plantio agroflorestal e, ao mesmo tempo, utilizar como aporte a energia e os nutrientes acumulados pela sucessão florestal anterior ao plantio, podem-se total ou parcialmente as árvores e arbustos existentes no local, picando os ramos e galhos de suas copas e cortando os troncos em pedaços de aproximadamente meio metro (50cm). Este material será utilizado para o aprimoramento da formação de nichos ao longo do processo sucessional, a partir da intervenção agroflorestal. Em outras palavras, tomam-se de empréstimo os nutrientes e a energia captados e organizados pela vida, naquele espaço, como investimento para um nível mais complexo de organização a partir da agrofloresta.

Quando a agrofloresta for implantada em uma área em que não há disponibilidade de matéria vegetal, é importante fazer um aporte inicial de matéria orgânica, trazendo galhos e folhas de fora e dispendo sobre a superfície dos canteiros na forma de “ninhos”.

14.6. Definição dos locais para implantação dos canteiros agroflorestais

Uma vez realizada a capina seletiva e o corte/poda das árvores e arbustos, definem-se os locais onde serão estabelecidos os canteiros agroflorestais. Os canteiros são locais especialmente preparados para receber as sementes e propágulos em alta densidade e de forma organizada.

Usualmente, tem-se elaborado canteiros de 1m a 1,2m de largura (para facilitar seu manejo), e de comprimento igual ao comprimento da área. Entre um canteiro e outro, é usual manter um espaço, chamado de entrelinha, para a produção inicial de biomassa vegetal a ser utilizada como adubo do próprio sistema (como veremos no item 14.10. Plantio entre-canteiros agroflorestais). O direcionamento dos canteiros deve ser preferencialmente de forma perpendicular à linha do movimento do sol, o que permitirá a otimização da incidência da luz solar nas plantas. Portanto, a orientação norte-sul dos canteiros é fator prioritário para a implantação do sistema. Isso permite que toda linha cultivada, nos diferentes estratos dos consórcios, receba o máximo de radiação solar ao longo do dia, o que potencializa a taxa fotossintética, aumenta a capacidade produtiva e a consequente produção de biomassa; além disso, evita-se assim a formação de microambiente excessivamente úmido, reduzindo a incidência de fungos, bactérias e insetos que poderiam causar danos às plantas.

É importante ter em mente, todavia, que os canteiros implantados na agrofloresta, bem como os espaços entre os canteiros, são completamente cobertos com elevada quantidade de matéria vegetal já no momento do plantio, e que a área será rapidamente coberta por plantas vivas, produzindo sistema radicular ativo, em alta densidade. Além disso, conforme será

detalhado adiante, serão colocados pedaços de troncos sobre os canteiros que, estes sim, ficarão perpendiculares ao relevo. Dessa forma, esta prática diminuiu o risco de ocorrer erosão do solo.

14.7. Formação dos canteiros agroflorestais

Após a delimitação do espaço para os canteiros, segue-se a sua construção. Primeiramente, raspa-se cuidadosamente o “cisco”, ou o material vegetal retirado na capina seletiva da área dos canteiros, que no caso específico do espaço dos canteiros tende a ser de todas as plantas ali presentes. Isso se faz com enxada ou ancinho, procurando retirar o mínimo possível da camada superficial de solo junto com o “cisco”. Porém, mesmo com todo o cuidado, uma certa quantidade de solo acaba se misturando ao “cisco”. Este solo, originário da camada mais superficial, tende a ser de alta atividade biológica e de grande fertilidade, e não pode ser desperdiçado. Portanto, amontoa-se o material retirado, reservando-o para uso posterior.

Estando o espaço dos canteiros sem cobertura de plantas, “solta-se” o solo superficial (10cm a 15cm de profundidade). Com o solo “solto”, montam-se os canteiros procurando manter as bordas mais elevadas do que a área central, visando direcionar a água da chuva e os nutrientes mobilizados pela decomposição do material orgânico para o centro dos canteiros (Figura 27).

Em geral, realiza-se o plantio de sementes e mudas ao longo do eixo central do canteiro, em uma pequena faixa de 8cm a 15cm de largura. Nas margens dessa faixa central, quando há disponibilidade de material, colocam-se cuidadosamente, lado a lado e de forma perpendicular ao eixo do canteiro, pedaços de troncos e galhos das árvores, de aproximadamente meio metro (como na Figura 27), cortados na área ou em áreas próximas. Quando não se tem madeira disponível, pode-se utilizar qualquer outro tipo de material orgânico. Além de troncos e galhos, as folhas cortadas ou outras fontes de matéria orgânica são também depositadas sobre os canteiros ou sobre os troncos e galhos, formando “ninhos” para o estabelecimento inicial das plantas. Esta intervenção tem cinco funções principais:

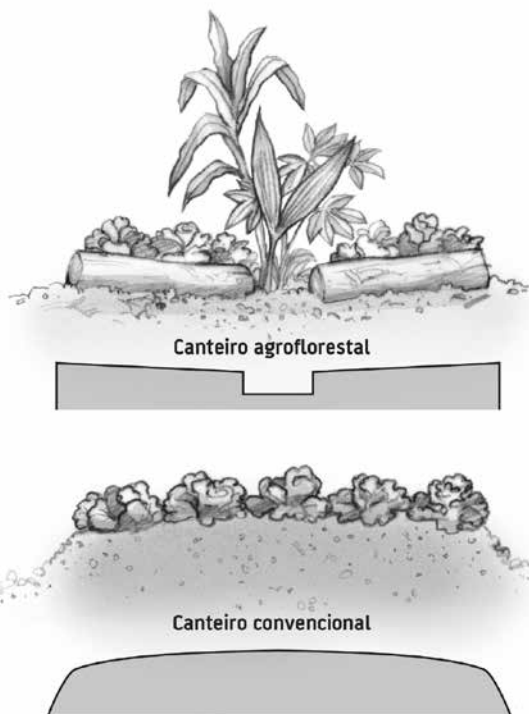


Figura 27. Representação esquemática da forma dos canteiros agroflorestais e a posição dos troncos.

- proteger o solo do canteiro da insolação direta e da erosão;
- ativar a vida microbiana no espaço do canteiro, a partir da disponibilização de matéria orgânica e do estímulo às relações ecológicas da micro e mesofauna do solo (bactérias, fungos, colêmbolos, minhocas etc.), que passam a usufruir direta ou indiretamente desta grande quantidade de material orgânico, criando constantemente novos nichos ecológicos no solo e incrementando sua fertilidade;
- proteger a área central do canteiro – onde ocorreu o plantio – do estabelecimento das espécies herbáceas de ocorrência natural, especialmente gramíneas;
- contribuir para o direcionamento da água da chuva em baixa velocidade e em nível para a parte central do canteiro; e

- estabelecer o início de um ambiente de solo florestal, mais adequado ao desenvolvimento das mudas e sementes plantadas.

Na prática, a colocação dos troncos na forma descrita procura imitar, em parte, o processo de renovação das florestas a partir de clareiras. Nas clareiras, a regeneração florestal ocorre utilizando, entre outros recursos, o material orgânico das árvores caídas. Na “imitação” deste processo nas agroflorestas, contudo, busca-se acelerar o processo de sucessão, dispondo o material vegetal da forma mais organizada possível e diretamente em contato com o solo (Figura 28).





Uma opção a ser considerada é a colocação de solo (preferencialmente o solo retirado junto com o “cisco”, no delineamento dos canteiros) ocupando o espaço superior entre dois pedaços de troncos, ao longo de todo o canteiro. Este solo, rico em fertilidade, pode ser usado para o plantio de espécies de ciclo curto (Figura 29). A presença dessas espécies também favorecerá a decomposição do material orgânico, a formação de novos nichos ecológicos e o estabelecimento de novas relações ecológicas na área.

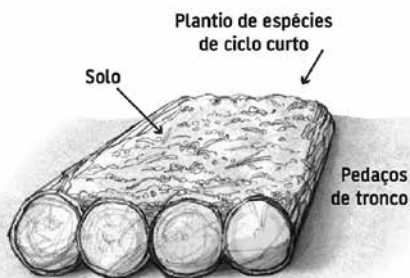


Figura 29. Opção de colocação de solo sobre os pedaços de troncos nos canteiros, para plantio de espécies de ciclo curto, especialmente hortaliças.

14.8. Planejamento do plantio dos canteiros agroflorestais

Construídos os canteiros, inicia-se o plantio. Neste momento, é importante lembrar que será semeada ou plantada uma quantidade muito maior de sementes e mudas do que se espera que germine ou viva em longo prazo na agrofloresta. Portanto, o espaço do canteiro receberá uma grande densidade de sementes e/ou mudas. Seja considerando esta condição, seja aproximando espécies companheiras-(ainda evitando que o manejo de poda e colheita das espécies, cada uma a seu tempo, afete negativamente as outras plantas que permanecerem), o “mapeamento” adequado do plantio nos canteiros é de grande importância.

Este “mapeamento” consiste em desenhar o delineamento e a forma do plantio de cada espécie nos canteiros, antes de sua efetivação, buscan-

do otimizar a ocupação do espaço acima e abaixo do solo em cada fase da sucessão agroflorestal, tendo como eixo de planejamento a otimização da captação da energia solar no sistema, da ocupação de diferentes nichos ecológicos e da ampliação das relações ecológicas.

Neste desenho, é importante considerar, por exemplo, quais espécies de diferentes estratos, que ocupem diferentes espaços verticais, acima e abaixo do solo, podem e devem ser plantadas no mesmo espaço horizontal, o que otimizará a captação da energia solar no sistema ao longo do tempo.

Entretanto, o espaçamento entre espécies cujas copas ocuparão o mesmo estrato, no mesmo estágio sucessional da agrofloresta, deve ser bem calculado, evitando a competição entre as mesmas. Este cuidado deve ainda ser maior no plantio de mudas, prevenindo, em médio prazo, a necessidade de retirada de árvores em competição que representaram, muitas vezes, um elevado custo para a aquisição de suas mudas.

Outro aspecto a ser considerado é a arquitetura das raízes das espécies a serem plantadas em conjunto com a arquitetura da parte aérea de cada uma. Caules subterrâneos ou raízes tuberosas, como inhame, cará, batatas ou mandioca, por exemplo, ocupam um grande espaço no solo. O direcionamento do plantio dessas espécies deve considerar qual espaço será ocupado e que, no momento da colheita, sua desocupação momentânea não deve afetar o início do desenvolvimento de outras espécies, especialmente de fases subsequentes da sucessão. Isso deve ser levado em conta, inclusive, no ângulo e no sentido de direcionamento das manivas e propágulos nos canteiros.

Espécies de hortaliças de ciclo mais curto, todavia, que serão colhidas antes e que não afetem, no momento da colheita, o desenvolvimento dos tubérculos, podem ocupar espaços próximos no solo, desde que a arquitetura das folhas dessas espécies, no espaço a ser ocupado por elas e no período de seus ciclos, permitam a otimização do aproveitamento da luz solar. Vale considerar a opção de cultivo de hortaliças sobre os troncos (Figura 29).

Já espécies como as abóboras e feijões, por outro lado, ocupam uma parte considerável do espaço sobre o solo, com sua grande quantidade e densidade de folhas. Se o plantio dessas espécies for feito muito próximo

a outras espécies com ciclos de vida semelhantes, a tendência é que estas sejam dominadas e venham a perecer.

No mapeamento, é importante considerar que as espécies que preferem o sol da manhã devem ser plantadas no lado leste do canteiro, ocorrendo o contrário para espécies que se adaptam ao sol da tarde.

No delineamento do plantio, a preocupação em ocupar diferentes nichos ecológicos, a partir da diversidade do mesmo, é também de grande importância, visando contribuir para a otimização da organização dos processos vitais em níveis cada vez mais complexos. A título de exemplo, o guandu é uma espécie herbácea/arbustiva de ciclo curto que produz raízes fortes e profundas, trazendo para sua parte aérea nutrientes de regiões do solo inacessíveis por outras plantas de ciclo curto. Após seu crescimento, a poda da parte aérea trará para as regiões superficiais do solo estes nutrientes, assim como disponibilizará aos organismos do solo sua energia acumulada, favorecendo novos níveis de organização do sistema.

A ocupação de diferentes nichos possibilita a amplificação das relações ecológicas, que por sua vez amplificam a quantidade e a diversidade de nichos, em uma retroalimentação energética e estrutural. Diferentes espécies de gramíneas e asteráceas, por exemplo, ao ocuparem com suas raízes as camadas superficiais do solo, tendem a desenvolver associações com micorrizas. Estas associações, além de garantirem maior disponibilidade de absorção de água do solo para as respectivas plantas, são muito efetivas para a disponibilização de fósforo no solo, nutriente geralmente presente, mas indisponível. Um solo com mais fósforo disponível permite o desenvolvimento de várias outras espécies, que ocuparão outros nichos e participarão em outras relações ecológicas.

Assim, é fundamental identificar as possibilidades de ocupação de nichos de forma associada às relações ecológicas que as espécies a serem plantadas poderão fazer parte. O plantio de “espécies facilitadoras”, ou seja, justamente aquelas com uma grande quantidade e variedade de relações ecológicas em potencial, é muito importante.

Os aspectos aqui considerados são apenas alguns exemplos de cuidados a tomar no “mapeamento” dos plantios nos canteiros. Em última análise, devem ser considerados, conforme já colocado, todos os aspectos que possam influenciar na otimização da ocupação dos espaços horizontais e

verticais, na ocupação de diferentes nichos ecológicos, na potencialização de relações ecológicas e na otimização da captação de energia solar para o sistema. Isso tudo considerando a adaptação de cada espécie ao solo, clima e relevo da área.

14.9. Plantio dos canteiros agroflorestais

Uma vez “mapeado” o plantio, inicia-se o mesmo, tendo como regra geral plantar primeiro as espécies de mudas ou propágulos maiores, cuja implantação exija maior revolvimento do solo, para não “bagunçar” o canteiro. Mudas de árvores devem ser plantadas após a abertura de covas dentro do canteiro, que podem ser feitas com cavadeiras manuais ou mecanicamente. Após as árvores, plantam-se os propágulos e as manivas (como mandioca, cará, gengibre, por exemplo) e, após, as sementes das diferentes espécies. A cada espécie plantada, marca-se o local de plantio, no espaçamento definido, para evitar sobreposições inadequadas e revolvimento de solo em locais em que a semeadura já tenha ocorrido.

O plantio de sementes e mudas deverá ser realizado na pequena faixa de 8cm a 15cm de largura ao longo do eixo central do canteiro e sobre os troncos.

Na experiência da Cooperafloresta, o produto do plantio em um canteiro agroflorestal é um banco de sementes, propágulos e mudas muito denso e diversificado, contendo dezenas de espécies (Figura 30).





Figura 30. Representação da vegetação em desenvolvimento em um canteiro agroflorestal.

14.10. Plantio entre-canteiros agroflorestais

Realizado o plantio nos canteiros, é hora de cuidar do plantio no espaço entre os mesmos. Conforme já descrevemos, entre um canteiro e outro, costuma-se manter um espaço de entrelinhas. A função deste espaço é produzir biomassa vegetal para poda e aplicação nos canteiros e, em menor proporção, nas próprias entrelinhas. A largura das entrelinhas vai

variari, portanto, em função da existência ou não de outras fontes de matéria orgânica para os canteiros agroflorestais; da capacidade de crescimento das espécies selecionadas para o plantio nas entrelinhas; e das condições de fertilidade do solo, entre outros fatores. Em algumas agroflorestas, as entrelinhas nem chegam a ser implantadas, em função de alta capacidade de aporte de matéria orgânica a partir de outras áreas; porém, quando implantadas, costumam ter entre 3 a 10 metros de largura.

Neste espaço, em que foi feita a capina seletiva, o objetivo é otimizar a formação de matéria vegetal a partir da captação de energia solar (fotossíntese). Em outras palavras, o que se quer neste espaço é uma “bomba” de disponibilização de carbono e outros nutrientes para o sistema, utilizando espécies adaptadas a fazer isso a pleno sol.

Em geral, as espécies que melhor fazem isso são as gramíneas, de metabolismo C4, como capim mombaça, capim-elefante, cana-de-açúcar, milho, sorgo. Em função de suas adaptações morfofisiológicas, as gramíneas tendem a apresentar uma alta taxa fotossintética, convertendo gás carbônico em matéria vegetal rapidamente e com grande intensidade em ambientes abertos. Esta matéria vegetal contém, também, vários nutrientes absorvidos do solo. Além da alta capacidade de fotossíntese, enquanto houver incidência solar direta na área, algumas gramíneas suportam cortes a cada 2 ou 3 meses, que podem levar ao solo uma grande quantidade de matéria orgânica rica em carbono e demais nutrientes.

Considerando estes aspectos, plantam-se neste espaço gramíneas de rápido crescimento, como o capim-mombaça (*Megathlysus maximus* Jaq.). Esta espécie é muito produtiva, podendo atingir, em pastagens, uma produtividade em torno de 41 toneladas por hectare (Jank et al., 2008). Uma outra vantagem do capim mombaça é que seu ponto de rebrota é bem baixo, em torno de 5cm a 8cm. Isso faz com que em cada corte possa se aproveitar quase a totalidade da biomassa produzida e garantir o seu rebrote. Além disso, em situações em que outros capins de mais difícil manejo estejam crescendo espontaneamente, o corte baixo costuma ser útil para evitar o rebrote dessas espécies. A braquiária, por exemplo, tem seu ponto de rebrota em torno de 10cm a 15cm. Caso ela esteja crescendo junto com o mombaça, quando o corte é feito 5cm a 8cm, o rebrote do mombaça é estimulado, e o do braquiária, retardado.

Junto com o capim, pode-se plantar adubos verdes, especialmente leguminosas (como crotalária, guandu etc.) e asteráceas (como o margaridão, por exemplo).

Como o objetivo com a área entre os canteiros é produzir biomassa em grande quantidade para a disponibilização de matéria orgânica e nutrientes para a agrofloresta, a quantidade de área a ser disponibilizada para este fim deve ser tanto maior quanto menos fértil é o solo. Em experiências de manejo agroflorestal iniciadas pela Cooperafloresta nos municípios da Lapa (PR) e Ribeirão Preto (SP), estão sendo utilizadas faixas de 6,8m a 8,4m de largura, onde, além de capim e adubos verdes, implantam-se espécies arbustivas e arbóreas pioneiras rústicas com grande capacidade de produção de matéria vegetal e rebrota.

A rápida e densa cobertura dessa área, além de constituir uma “fábrica de material orgânico” (que fornecerá nutrientes quando decompuser), acaba por controlar outras espécies de rápido crescimento e de difícil controle, especialmente as herbáceas nativas, na medida em que ocupam o espaço e a possibilidade de captação de luz solar dessas espécies (Figura 31).



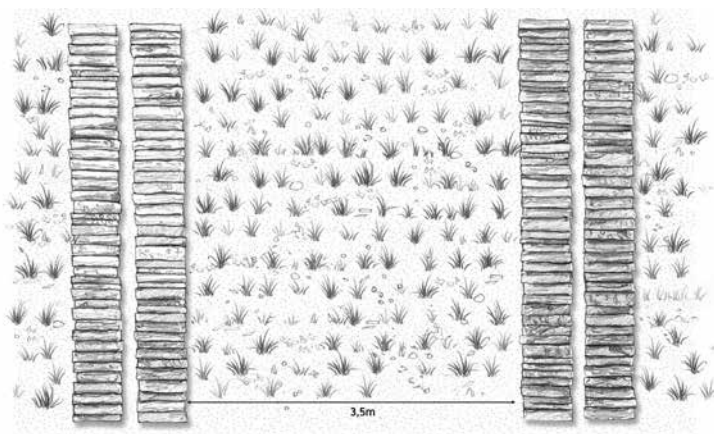


Figura 31. Agrofloresta em implantação, indicando o plantio de capim entre os canteiros.

14.11. Finalização da implantação da agrofloresta

Realizado o plantio na área entre os canteiros, finaliza-se a implantação da agrofloresta cobrindo todo o solo com folhas e galhos picados, obtidos a partir do corte das árvores existentes na área. Cobrem-se tanto os canteiros quanto os espaços entre os canteiros, usando, proporcionalmente, mais material de cobertura sobre os canteiros. Essa prática, além de proteger o solo da erosão, contribui para a ativação da vida no solo e otimiza o aproveitamento da organização da vida no espaço agroflorestal (Figura 32).



Figura 32. Finalização da implantação da agrofloresta: cobertura com folhas e galhos.

15. MANEJO INICIAL

15.1. Manejo do capim e dos adubos verdes

Em um período de dois a quatro meses após a implantação da agrofloresta, a área entre os canteiros tende a estar totalmente coberta pelo capim e, se for o caso, pelos adubos verdes.

Quando o capim mombaça apresentar quase 1m de altura, ou já estiver começando a dobrar as folhas, é hora de fazer o primeiro corte. Corta-se o capim, com facão ou roçadeira (costal ou de arrasto), e depositam-se as folhas sobre os canteiros. É importante ter o cuidado de podar a parte de baixo das folhas cortadas (em geral, a terça parte do comprimento) e depositá-las na própria área do capim. Como o capim “pega” muito facilmente, caso a parte basal das folhas seja colocada nos canteiros, é possível que ele enraíze ali, competindo com as espécies plantadas. Por outro lado, esta prática contribui com alguma reposição de matéria orgânica na área das entrelinhas (Figura 33).

Após o primeiro corte, é possível realizar novos cortes a cada 2 a 3 meses. No âmbito da Cooperafloresta, prefere-se fazer o corte do capim na época de lua minguante, o que favorece a rebrota. É importante nunca deixar o capim florescer, evitando-se a ressemeadura, o que atrasaria a velocidade da sucessão ecológica e dificultaria o manejo.

Cada corte representa aproximadamente 1,7kg de matéria vegetal seca sendo depositada por metro quadrado (ou 17 toneladas de matéria vegetal seca por hectare) (Pego et al., 2013). Junto com o capim, cortam-se também os adubos verdes que já atingiram a fase adulta, colocando sua matéria vegetal sobre os canteiros (Figura 33).

Estudos realizados nos assentamentos Mário Lago (Ribeirão Preto/SP) e Contestado (Lapa/PR), com este tipo de implantação, indicam a produção de 300 a 500 toneladas de biomassa de capim verde por hectare, sendo depositadas anualmente sobre os canteiros agroflorestais, nos dois primeiros anos de implantação (Correa Netto et al., 2016).



Figura 33. Manejo do capim e adubos verdes em agrofloresta jovem.

15.2. Manejo das espécies de ciclo curto

Quando existem condições adequadas de fertilidade do solo e a deposição de uma grande quantidade de material orgânico, durante o primeiro ano da agrofloresta é possível um manejo intenso de colheita das espécies de ciclo curto, especialmente hortaliças. Se os canteiros foram bem planejados e implantados, a colheita das hortaliças, no primeiro ano, tende a pagar, com sobras, o trabalho de implantação da agrofloresta; sem dúvida é também o momento de trabalho mais intenso.

A colheita das hortaliças deve ser feita com todo o cuidado, procurando não revirar o solo e evitando danificar plântulas de outras espécies, especialmente das árvores que estão crescendo por baixo delas. Qualquer espaço que venha a ficar exposto ao sol após a colheita deve ser coberto com folhas, sejam provenientes da área do capim ou de outros manejos (Figura 34).



Figura 34. Colheita de hortaliças dos canteiros agroflorestais em agroflorestas jovens.

Quem faz agrofloresta sabe que solo exposto é um convite para o estabelecimento de capins, que tem a função, na natureza, de mantê-lo coberto. Se a área central do canteiro foi densamente plantada, ela não será ocupada por capins, nem os de origem da regeneração natural, nem o capim plantado. A grande cobertura com pedaços de tronco ou outras fontes de matéria orgânica, entre a área central dos canteiros e a área do capim plantado, garante este relativo isolamento, especialmente na fase inicial de desenvolvimento da agrofloresta.

Outra função muito importante dessas linhas de pedaços de tronco, neste momento, é a facilitação do manejo da área. Estas linhas servem como caminho e base para o manejo, evitando o pisoteio de plantas e a exposição do solo (Figura 35).



Figura 35. Manejo das hortaliças em fase inicial da agrofloresta, facilitado pela forma dos canteiros.

15.3. Manejo da capina seletiva

Além do manejo de corte e deposição do capim e de colheita escalonada dos produtos da agrofloresta, o manejo inicial também envolve um cuidado especial com a capina seletiva, especialmente nos primeiros anos da agrofloresta, retirando plantas de espécies de fases iniciais da sucessão e

promovendo plantas de estágios mais avançados. Além disso, várias espécies, tanto plantadas quanto provenientes de regeneração natural, podem e devem ser parcialmente podadas, gerando material orgânico para uso nos canteiros e liberando a entrada de luz para os estratos mais baixos da agrofloresta.

Após quatro a seis anos, as copas das árvores e arbustos, provavelmente, estarão criando condições de sombreamento que alteram o nicho ecológico adequado ao desenvolvimento do capim que foi plantado, assim como das gramíneas em geral.

Dessa forma, o capim, que cumpriu a grande função de produzir matéria vegetal e incrementar os processos vitais no início da agrofloresta, vai deixando o sistema, naturalmente. Nessa época, praticamente, também já não existem pedaços de troncos nos canteiros, uma vez que estes já foram decompostos pela biota do solo. Além disso, a combinação das plantas provenientes dos plantios, nos canteiros, com as plantas promovidas pela capina seletiva, fora deles, vão retirando gradativamente da paisagem agroflorestal as linhas dos canteiros (Figura 36).



Figura 36. Agrofloresta de 6 anos.

16. MANEJO DE AGROFLORESTAS MADURAS

16.1. Primeiro passo: capina seletiva

Inicialmente, o manejo em uma agrofloresta madura deve começar com atividades simples e óbvias. A capina seletiva é o primeiro passo, retirando do sistema aquelas plantas que já produziram, que já cumpriram seu papel na sucessão e estão em fase final de vida. Agindo dessa forma, acelera-se o processo de sucessão ecológica, retirando espécies que não se adéquam mais aos novos nichos criados pela própria sucessão. Dessa maneira, o manejo constante evita a estagnação do sistema.

Quem maneja uma agrofloresta com alguns anos de vida sabe onde está cada planta, tanto proveniente do plantio ou da regeneração natural, pois elas foram plantadas e monitoradas por meio das capinas seletivas e das podas desde a implantação da agrofloresta.

É importante lembrar que cada planta retirada deve ser picada e colocada sobre o solo, evitando-se colocar as espécies que “pegam” ou “rebrotam” facilmente em contato direto com o mesmo – essas plantas devem ser colocadas sobre galhos ou folhas podados de outras espécies.

Como o solo descoberto é um convite para o estabelecimento de espécies herbáceas pioneiras, especialmente gramíneas, deve-se cobrir com o material vegetal proveniente da capina seletiva especialmente os espaços descobertos e mais expostos à luz solar. Por outro lado, já que tanto a capina seletiva quanto a poda promoverão maior entrada de luz no sistema, atingindo inclusive os andares mais baixos da agrofloresta e estimulando o crescimento de espécies herbáceas pioneiras, é preciso ter bastante cuidado para realizar uma capina realmente efetiva, retirando todas as plantas

que não devem mais estar no sistema. Uma capina seletiva bem feita evita ter que voltar a se fazer capinas desnecessárias na área, reduzindo em muito o trabalho ao longo do tempo.

É importante estar atento, na capina seletiva, à possibilidade do uso de várias plantas retiradas que geram propágulos ou mudas que poderão ser utilizados na implantação de outras agroflorestas.

Por outro lado, é provável que várias plantas provenientes da regeneração natural estejam ocupando nichos não ocupados por indivíduos de espécies plantadas. Mantê-las e/ou promovê-las pode ser interessante para aumentar as relações e os nichos ecológicos na área, ou como possíveis fontes de matéria orgânica. Se for este o caso e a espécie suportar podas, rebrotando ainda em nicho adequado, pode-se aproveitar o material podado para a adubação da área. Ou pode-se, simplesmente, manter o indivíduo para uma nova avaliação, em um próximo manejo.

16.2. Segundo passo: podas

Feita a capina seletiva e conservando as plantas que se deseja manter, é hora de fazer as podas.

Em uma agrofloresta, não é possível retirar as árvores do espaço horizontalmente ocupado por elas, e este é um limitante espacial. Entretanto, pode-se estimulá-las a ocupar outros espaços verticais, estratificando as suas copas, sempre respeitando a vocação ecológica da planta ou o estrato que ela ocupa em seu ecossistema de origem, que pode ser deduzido por contínua observação e avaliação em outros locais.

Esta é a questão chave do manejo: com base na percepção da sucessão ecológica da agrofloresta, a partir da identificação, no local, das espécies que estão formando os diferentes consórcios e estratos, é preciso perceber qual o estrato ideal a ser ocupado por cada planta ao longo do tempo. Com isso em mente, procura-se conduzi-las, especialmente pela poda, a estes estratos. Trata-se de um ajuste a cada momento de manejo, procurando realizar atividades que levem cada planta ao seu estrato ideal.

O processo de sucessão ecológica indica as fases – anterior, atual e potencialmente futura – da agrofloresta, sendo que determinados consórcios de espécies estão ou estarão presentes em cada uma delas. A sucessão,

portanto, é o resultado do trabalho do tempo sobre as espécies e sobre a agrofloresta como um todo.

A estratificação, por outro lado, é um detalhamento do processo de sucessão ecológica no espaço vertical, ou, colocado de outra forma, o resultado da ação do tempo na estrutura vertical da agrofloresta (Figura 37).

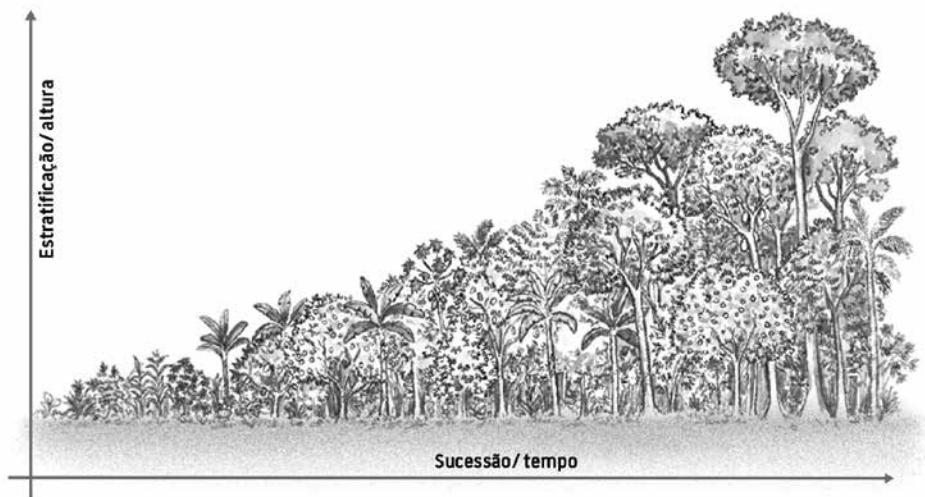


Figura 37. Representação esquemática identificando a sucessão e a estratificação ao longo do tempo.

Entender e perceber oportunidades de intervenção para incrementar a ocupação do espaço vertical ao longo do tempo é fundamental para o manejo. Isto porque uma de suas funções principais é justamente potencializar ou até reorientar alguns arranjos espaciais, contando com a força da sucessão ecológica e do crescimento das espécies.

Assim, após realizada a capina seletiva, o manejo se resume, principalmente, a um diálogo com cada planta na agrofloresta, trazendo questões como:

- “Esta planta está no lugar certo?”
- “Devo conduzir sua copa para outro andar da agrofloresta?”
- “Preciso retirá-la, porque a substituta dela naquele estrato já está pedindo passagem?”

– “Qual a função dessa planta, neste momento e futuramente, na formação de nichos e relações ecológicas, e que relações e nichos são desejáveis?”

– “Qual a altura que sua copa deve estar em médio prazo?”

– “Qual a altura que estarão ou deverão ser conduzidas as copas das árvores adjacentes?”

– “Qual a intensidade de luz que otimizará a produtividade dessa planta?”

– “Como posso podar as árvores adjacentes para facilitar essa entrada de luz?”.

Dialogar dessa forma, olhando para cada planta sob vários ângulos e trazendo para este diálogo o conhecimento sobre as características de cada espécie, determina que tipos de podas deverão ser feitas.

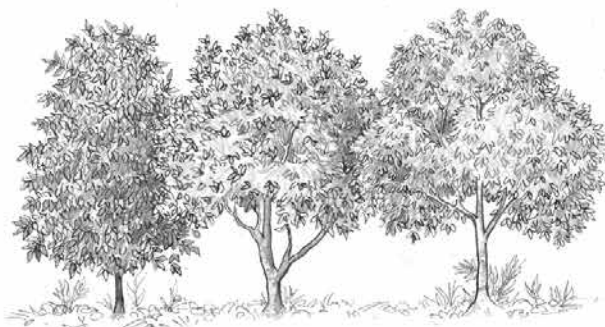
16.2.1. Poda de estratificação

Conforme descrito acima, cada planta tem seu estrato ideal, ou seu andar, a partir do espaço horizontal que ela ocupa na agrofloresta e considerando as plantas das diferentes espécies ao seu redor. Faz-se a poda de estratificação para estimular que cada planta ocupe realmente o estrato adequado.

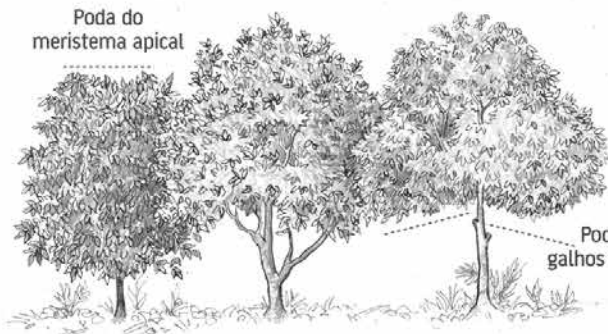
Em uma situação em que estejam, por exemplo, próximas entre si, uma planta de café, um cítrus e uma canela, em que suas copas ocupam o mesmo estrato vertical, é importante realizar podas que as estratifiquem adequadamente. Pode-se “cortar a cabeça” (o meristema apical) do café, estimulando que ele forme uma grande saia e que não cresça mais verticalmente; podar os ramos mais baixos da canela e, se conveniente, podar galhos de árvores adjacentes que estejam impedindo a chegada de luz à sua copa, estimulando seu crescimento vertical; e manter o cítrus, realizando, se for o caso, uma poda de frutificação (Figura 38).

Se a canela for podada mais abaixo, antes da formação dos galhos, a sua rebrota irá competir, no mesmo estrato, com o cítrus, ou mesmo com o café. Se o café for podado em seus ramos laterais, e não o meristema apical, a tendência é que ele cresça verticalmente, competindo com o cítrus. Assim, o sucesso produtivo e ecológico da agrofloresta depende da distribuição adequada de luz em cada estrato, tendo a poda de estratificação como principal ferramenta.

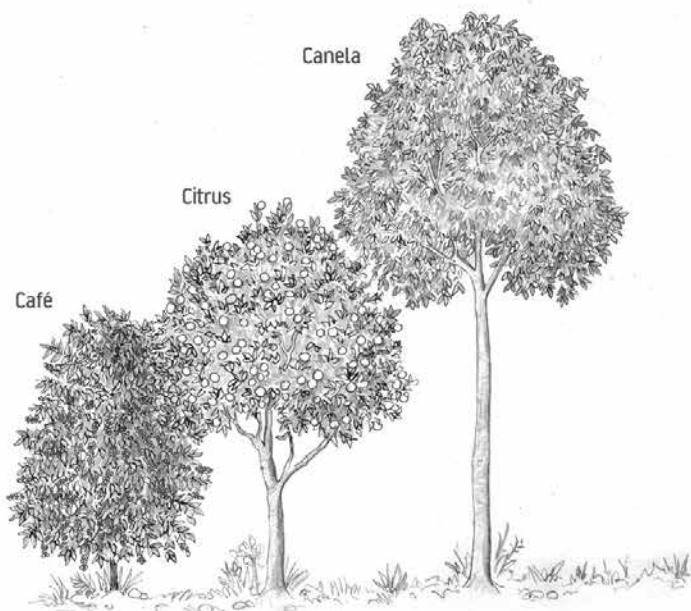
Poda de estratificação



Poda do
meristema apical



Poda dos
galhos inferiores



Canela

Citrus

Café



Figura 38. Representação esquemática da poda de estratificação.

16.2.2. Poda de frutificação

A poda de frutificação é um tratamento, um cuidado com as árvores, visando facilitar a produção de flores e frutos.

Em geral, quanto mais “arejada” estiver a copa, maior a possibilidade de produção e, ao mesmo tempo, menor a possibilidade de ataque de fungos e insetos. Assim, é importante retirar os galhos que estão mais velhos ou senescentes, os galhos doentes e os galhos que se sobrepõem a outros mais vigorosos. Além disso, ramos “ladroes” ou “galhos chupões”, ou seja, aqueles galhos mais grossos que tendem a crescer retos, mais verticalmente, também devem ser retirados, evitando-se a perda de energia da árvore.

Além destes critérios gerais, é essencial atentar para as características próprias de cada espécie em relação à produção de flores e frutos, para se fazer uma poda adequada. Existem espécies que só produzem em ramos do ano, outras que só produzem em ramos que já completaram um ano, e outras que só produzem em ramos mais velhos. Adequar a poda de frutificação a estas características é fundamental. Também é de grande

importância procurar conduzir, por meio da poda, a um formato de copa próxima ao formato natural da espécie (Figura 39).



Figura 39. Poda de frutificação.

16.2.3. Poda de sucessão

A poda de sucessão, feita rente ao solo (Figura 40) é feita quando existem ou venham a existir duas ou mais plantas ocupando, com suas copas, o mesmo espaço horizontal, e cujo estrato ideal delas é o mesmo. Ou seja, plantas próximas umas das outras, cujas características indicam que devam ocupar o mesmo estrato na agrofloresta, exigem uma avaliação de qual ou quais delas devem ser mantidas e quais devem ser retiradas para oportunizar melhor desenvolvimento da planta que permanecer. Diferentemente da poda de estratificação, neste caso não há como estratificar com sucesso as plantas, pois elas ocuparão o mesmo estrato, competindo entre si.

Na avaliação de qual planta manter, é importante considerar aspectos de diversidade, função ecológica, produtividade e opções de uso e renda. Normalmente, opta-se por retirar a espécie típica das etapas anteriores e deixar a espécie típica das etapas futuras. Muitas vezes, é fácil perceber esta opção, visto que a seleção natural tende a deixar mais saudável o indivíduo da etapa futura de sucessão.

É bom lembrar que podas de sucessão fazem parte do planejamento, ainda que de forma indefinida sobre cada espécie ou planta. Conforme descrito anteriormente, no momento do plantio semeiam-se ou plantam-se muito mais sementes, propágulos ou mudas do que se espera de plantas adultas, buscando garantir uma “disponibilidade genética” e de adaptação das espécies na agrofloresta. Quanto maior a variação de usos e funções ecológicas que uma espécie pode representar, maiores as possibilidades de aproveitamento das podas de sucessão.



Figura 40. Poda de sucessão.

16.2.4. Cuidados na poda

Apesar da avaliação de que tipo de poda fazer depender de um “diálogo” com cada planta, é fundamental que as intervenções considerem como ficará o conjunto das plantas na agrofloresta, de forma a otimizar a entrada de luz em todos os andares ou estratos. Para tanto, é sempre interessante ter em mente como se almeja que a estrutura da agrofloresta esteja no momento do próximo manejo.

Deve-se atentar para a planta existente abaixo daquela que será podada, que irá substituí-la no próximo consórcio, conforme propõe Götsch (1995). Dessa forma, leva-se em consideração tanto a planta que vai ser podada quanto a planta que sofrerá as consequências dessa poda, já que

a poda interferirá na disponibilidade de luz, espaço e oferta de material orgânico para o sistema.

No manejo da poda, é relevante, também, considerar que árvores muito altas podem dificultar em muito o manejo. Assim, deve-se atentar para a altura máxima das árvores que se quer manter, buscando cortar seus meristemas apicais quando elas atingirem essa altura. No caso de árvores madeiráveis, essa poda contribui também para ir “engrossando” a árvore, na medida em que se favorece a atividade dos meristemas secundários.

É considerável lembrar que, ao entrar em uma agrofloresta madura para manejá-la, deve-se levar diferentes ferramentas de poda. A poda de estratificação e a poda de sucessão podem ser feitas com facão. A diferença é que, na poda de estratificação, o corte deve ser muito bem feito e de baixo para cima, evitando que haja lascas no corte. Isso favorece a rebrota e evita a entrada de fungos, bactérias e insetos no caule. Já na poda de sucessão, o corte deve ser feito o mais rente ao solo possível, lascando a madeira, justamente para reduzir a chance de rebrota. Já a poda de frutificação precisa ser feita de forma mais precisa, com tesoura de poda ou serrote de mão.

Podas de galhos de árvores que se pretende usar a madeira devem ser feitas cedo, ou seja, no momento certo para não formar nós, e de forma precisa.

O material podado, originário de qualquer poda, deve ser bem picado e colocado sobre o solo. Neste processo, é imprescindível, além de cobrir partes do solo eventualmente sem vegetação, distribuir o mais homogeneamente possível o material, lembrando que as raízes estão, potencialmente, em toda a projeção da copa das árvores, e não somente ao pé das plantas.

Finalmente, é fundamental ter em mente que é por meio das podas que a luz solar deve chegar aos vários estratos da agrofloresta. Assim, as podas realizadas, seja de que tipo for, devem otimizar essa entrada de luz. Eventualmente, é necessário realizar podas específicas para este fim.

16.3. Terceiro passo: completar as agroflorestas

No manejo das agroflorestas, muitas vezes a capina seletiva e a poda geram espaços que podem ser ocupados por outras espécies.

Conforme já comentado, o ideal é que estes espaços sejam previstos no planejamento do plantio. Entretanto, em várias situações, é possível e interessante a implantação de novas espécies ao longo do tempo e do manejo, visando completar os andares e nichos ecológicos da agrofloresta.

Assim, é primordial estar atento a essas possibilidades, no sentido de incrementar, quando possível, os processos vitais e a produtividade agroflorestal.

17. RENOVAÇÃO DA AGROFLORESTA

Ao longo do tempo e em função das práticas de manejo, as espécies arbóreas vão dominando o espaço agroflorestal, sobrando pouco espaço e nichos ecológicos para espécies herbáceas de interesse (com exceção de espécies herbáceas adaptadas ao sombreamento, como taioba e açafraão).

Por outro lado, muitas vezes o manejo de poda e colheita, em agroflorestas mais velhas (quando estas não foram manejadas para evitar que fiquem muito altas), passa a ser feito com alguma dificuldade quando exige a subida em árvores altas.

Quando o sistema é muito incompleto quanto à ocupação dos nichos e/ou quando o manejo vai se tornando difícil, é importante avaliar a pertinência de renovação da agrofloresta, total ou parcialmente. Se for este o caso, procede-se da mesma forma que na implantação.

Entretanto, a mobilização dos processos vitais e o incremento de diversidade e fertilidade desempenhado durante o manejo promoverão um nível muito mais elevado de organização da energia e das estruturas vitais na próxima agrofloresta.

•

Como é possível perceber, fazer agrofloresta não é somente inserir culturas agrícolas dentro da floresta. Uma agrofloresta implantada e manejada é o resultado de várias intervenções, cuidadosamente planejadas e executadas, que visam aproveitar os processos vitais do local para o próprio incremento da vida.

É importante ter em mente que a agrofloresta busca aproveitar e cooperar com os processos vitais de forma inteligente. Este aproveitamento

se faz a partir de muita observação e cuidado, traduzidos em múltiplas intervenções adequadamente planejadas. Tendo isso como premissa, pode-se dizer que, em um sentido amplo, fazer agrofloresta é de fato plantar, é fazer agricultura, é dialogar com a natureza, tendo como campo de trabalho os processos vitais da floresta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, D.; PASINI, F. Vida em sintropia: agricultura sintrópica de Ernst Götsch explicada. São Paulo: Labrador, 2022. p. 256.
- ANGEL-PÉREZ, A.L.D.; MENDOZA B., M.A. Totonac homegardens and natural resources in Veracruz, Mexico. *Agriculture and Human Values*, 21: 329-346, 2004.
- ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: LOPES VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. (Ed.) *Biologia dos solos dos Cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. 363 - 443 p.
- AZEVEDO, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Esmectita, vermiculita, minerais com hidróxi entrecamadas e clorita. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds) *Química e mineralogia do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 381 - 426.
- BEARE, M.H.; COLEMAN, D.C.; CROSSLEY Jr, D.A.; HENDRIX, P.F.; ODUM, E.P. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and Soil*, Dordrecht, 170: 5-22, 1995.
- BENJAMIN, T.J.; MONTAÑEZ, P.I.; JIMÉNEZ, J.J.M.; GILLESPIE, A.R. Carbon, water and nutrient flux in Maya homegardens in the Yucatán peninsula of Mexico. *Agroforestry Systems*, 53: 103-111, 2001.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n. 429, de 28 de fevereiro de 2011. *Diário Oficial da União*, 01 de março de 2011.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Instrução Normativa n. 4, de 8 de setembro de 2009. *Diário Oficial da União*, 10 de setembro de 2009.
- BRASIL DE FATO. Namastê Messerschmidt: “Fazer agrofloresta é uma necessidade”. São Paulo: Redação Brasil de Fato, 2022.
- BROKAW, N.V.L. Gap-phase regeneration in a tropical forest. *Ecology* 66: 682-687, 1985.
- BUDOWSKI, G. Distribution of tropical american rain forest species in the light of successional process. *Turrialba*, 15: 40-42, 1965.
- CAJA-GIRON, Y.S.; SINCLAIR, F.L. Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry pastures in the Caribbean Region of Colombia. *Agroforestry Systems*, 53: 215-225, 2001.
- CANELLAS, L. P.; MENDONÇA, E. S.; DOBBS, L.B.; BALDOTTI, M. A.; VELLOSO, A. C. X.; SANTOS, G. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. & CAMARGO, F. A. de O. (Eds). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. ver. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 45 - 63 p.
- CAPRA, F. A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. São Paulo: Ed. Cultrix, 1996. 256p.
- CAPRA, F. As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável. São Paulo: Editora Cultrix, 2002. 296p.

- CAPRA, F.; LUISI, P.L. A Visão Sistêmica da Vida: uma concepção unificada e suas implicações filosóficas, políticas, sociais e econômicas. São Paulo: Cultrix, 2014. 615p.
- CARNEIRO, R. O uso do solo e classificação da floresta (Kuikúro). In: RIBEIRO, B. G. (Org.) Suma Etnológica Brasileira – I. Etnobiologia. Belém: Editora Universitária UFPA, 1987. 302 p.
- CARPANEZZI, A.A. Banco de sementes e deposição de folhedo e seus nutrientes em povoamentos de bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) na região metropolitana de Curitiba. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista(UNESP), 1997. 177 f. (Tese de Doutorado).
- CEZAR, R.M. Parâmetros biológicos de solos em sistemas agroflorestais multiestratos sucessional e regeneração natural. Curitiba, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, 2013. 62 f. (Dissertação de Mestrado).
- CEZAR, R.M., F.M.V.; SCHWIDERKE, D. K.; GAIAD, S.; BROWN, G.G.; SEOANE, C.E.S.; FROUFE, L.C.M. Soil biological properties in multistrata successional agroforestry systems and in natural regeneration. *Agroforestry Systems*, 89: 1035-1047, 2015.
- CHABOUSSOU, F. Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose. Tradução de Maria José Guazzelli. Porto Alegre: L&PM, 1999. 272p.
- CLARK, D. A. Are tropical forests an important carbon sink? Reanalysis of the long-term plot data. *Ecological Applications* 12: 3–7, 2002.
- CORRÊA NETO, N. E.; MESSERSCHMIDT, N. M.; STEENBOCK, W.; MONNERAT, P. F. Agroflorestando o mundo de facão a trator. Barra do Turvo, Cooperafloresta, 2016.
- DÍAZ, S.; CABIDO, M. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 16: 646-655, 2001.
- DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Eds.) Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Manoa: NIFTAL Project, University of Hawaii, 1989. 33 – 67 p..
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. State of the world forests. Rome: 2011. 179 p.
- FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: van LIER, Q. J. (Ed.) Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 1 – 27 p.
- FUTUYMA, D. J. Biologia evolutiva (coord. tradução Mario de Vivo). 2ª Ed. Ribeirão Preto, FUNPEC-RP, 2002. 631 p.
- GARRITY, D.P.; LEFROY, R.D.B.; BLAIR, G.J.; CRASWELL, E.T. the fate of organic matter and nutrients in agroforestry systems. In: LEFROY, R.D.B.; BLAIR, G.J. (Eds.) Soil organic matter management for sustainable agriculture: a workshop held in Ubon, Thailand, Aug. 1994. Proceedings n. 56. Anais, Camberra: ACIAR , 1995. p. 69-77.
- GARWOOD, N. C. Tropical soil seed banks: a review. In: LECK, M. A., ARKER, V. T.; SIMPSON, R. A. (Eds.). Ecology of soil seed banks. San Diego, Academic Press, 1989. p. 149-209.
- GLIESSMAN, S.R. Agroecologia. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFGRS, 2005. 653 p.
- GLOVER, N.; BEER, J. Nutrient cycling in two traditional central american agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 4: 77-87, 1986.
- GÖTSCH, E. Natural succession of species in agroforestry and in soil recovery. Pirai do Norte, Fazenda Três Colinas, 1992. 19 p. (não publicado)
- GÖTSCH, E. Break-through in agriculture. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1995. 22 p.
- GRANADOS, L.A.C. Viabilidad financiera de sistemas agrosilvopastoriles multiestratos y agroflo-

- restales, em fincas ganaderas convencionales del Departamento de Santander, Colombia. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 2005. 146 f. (Dissertação de Mestrado).
- HALL, J. B.; SWAINE, M. D. Seed stocks in Ghanaian forest soils. *Biotropica*, 12: 256-263, 1980.
- HEYWOOD, V. H.; WATSON, R. T. Global biodiversity assessment. Cambridge: University Press, United National Environmental Programme. 1997. 140 p.
- HOLGUIN, V.A.; IBRAHIM, M.; MORA-DELGADO, J. El aprendizaje participativo como base de un cambio positivo del uso del suelo en fincas ganaderas de Costa Rica. *Livestock Research for Rural Development*, v.19, n.4, abr 2007. Disponível em: <<http://w.cipav.org.co/lrrd/lrrd19/4/holg19053.htm>>. Acesso em 10/09/2013.
- HURLBERT, S. The nonconcept of species diversity: a critic and alternative parameters. *Ecology*, 52: 577-586, 1971.
- JANK, L.; RESENDE, R.M.S.; VALLE, C.B. et al. Melhoramento genético de *Panicum maximum*. In: Resende R.M.S.; Valle, C.B.; Jank, L. (Eds) Melhoramento de forrageiras tropicais. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte. p.55-87. 2008.
- JORDAN, C.F. Nutrient Cycling Processes and Tropical Forest Management. In: GÓMEZ-POMPA, A.; WHITMORE, T.C. and HADLEY, M. (Eds.) *Rain Forest Regeneration and Management*. Paris: UNESCO (Man and The Biosphere Series, vol.6), 1990. p. 159-180.
- KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: Universidade de São Paulo/Fapesp, 2000. 261 p.
- KÄMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURTI, N. Mineralogia de solos brasileiros. In: KER, J. C.; CURTI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds) *Pedologia: fundamentos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 81 – 145.
- KROPOTKI, P. 1907. Apoio mútuo: um fator de evolução. Tradução de Dinah de Abreu Azevedo. Porto Alegre, São Sebastião: Editora Deriva, a Senhora Editora, 2012.
- LAMBERS, H.; CHAPIN I, F. S.; PONSS, T. L. *Plant physiological ecology*. New York: Springer-Verlag, 1998. 540 p.
- LAURANCE, W.F.; LOVEJOY, T.E.; VASCONCELOS, H.L.; BRUNA, E.M.; DIRHAM, R.K.; STOUFFER, P.C.; GASCON, C.; BIERREGAARD, R.O.; LAURANCE, S.G.; SAMPAIO, E. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-years investigation. *Conservation Biology*, 6: 605-618, 2002.
- LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; SUZUKI, L. E. A. S. & CRUZ, L. E. C. Atributos físicos de um Planossolo Háptico sob sistema de manejo comparados aos do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32: 1849 – 1855, 2008.
- LIMA, R. M. B. de. Descrição, composição e manejo dos Cultivos Mistos de Quintal na Várzea da “Costa do Caldeirão”. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, 1994. 293 f. (Dissertação de Mestrado).
- LOVELOCK, J. *As eras de Gaia: uma biografia da nossa Terra viva*. Tradução de Lucília Rodrigues. Mira-Sintra: Publicações Europa-América, 1988. 214 p.
- LOVELOCK, J. *Gaia: cura para um planeta doente*. São Paulo: Cultrix, 2006. 192p.
- MARGALEF, R. *Perspectives in ecological theory*. Chicago: University of Chicago Press, 1968. 111 p.
- MARTINEZ-RAMOS, M.; ALVAREZ-BUYLLA, E.; SARUKHAN, J.; PINERO, D. Treefall age determination and gap dynamics in a tropical forest. *Journal of Ecology*, 76: 700-716, 1988.

- MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana. São Paulo: Editora Palas Athena, 2001. 288 p.
- MAY, R. M., LAWTON, J. H.; STORK, N. E. Assessing extinction rates. In: LAWTON, J. H. and MAY, R. M. (Eds.) Extinction rates. Oxford: Oxford University Press, 1995. p. 1-24.
- MELO, V. F.; WYPYCH, F. Caulinita e haloisita. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds) Química e mineralogia do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 427 – 504.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/CENTRO ECOLÓGICO. Relatório do Estudo Sistemas de Uso de Terra e Serviços Ambientais. SUBPROGRAMA PROJETOS DEMONSTRATIVOS – PDA. Relatório (não publicado). www.mma.gov.br (Acesso em 20/06/2013)
- MYERS, N.; KNOLL, A. The biotic crisis and the future of evolution. Proceedings of the National Academy of Sciences, 98: 5389–5392, 2001.
- NOSS, R.F.; CSUTI, B. Habitat fragmentation. In: MEFFE, G.K., CARROLL, R.C. (Eds.). Principles of Conservation Biology, 2 ed., Sinauer: Sunderland, MA, 1997. p. 269-304.
- OLIVEIRA, A. Diversidade, estrutura e dinâmica do componente arbóreo de uma floresta de terra firme de Manaus, Amazonas. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1997. 198 f. (Tese de Doutorado).
- PEGO, L.; BINNECK, S.; BORGES, S.; VIEIRA, W. Agrofloresta como estratégia produtiva e de conservação ambiental na Floresta Nacional do Açungui – Campo Largo/PR. Projeto Profissional de Intervenção. Curitiba, Faculdade Evangélica do Paraná, 2013. 63 p.
- PENEREIRO, F. M. Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1999. 138 f. (Dissertação de Mestrado).
- PIANKA, E. R. Evolutionary ecology. New York: Harper Collins College Publishers, 5 ed., 1994. 486 p.
- PIANKA, E. R. Latitudinal gradients in species diversity: a review of the concepts. American Naturalist, 100: 34-46, 1966.
- PICKETT, S.T.A.; ROZZI, R. The ecological implications of wolf restoration: contemporary ecological principles and linkages with social processes. In: SHARPE, V. A.; NORTON, B.; DONNELLEY, S. (Eds). Wolves and human communities: biology, politics, and ethics. Washington, DC: Island Press, 2000. p. 171-190.
- PIMM, S. L.; RAVEN, P. Extinction by numbers. Nature, 403: 843-845, 2000.
- POSEY, D.A. A preliminary report on diversified management of tropical forest by the Kayapo Indians of Brazilian Amazon. Advances in Economic Botany, 1:112- 126, 1984.
- PRICE, P. W. The web of life: development over 3,8 billion years of trophic relationships. In: MARGULIS, L.; FESTER, R. (Eds). Symbiosis as a source of evolutionary innovation. Cambridge: MIT Press, 1991. p. 262-272.
- PRIGOGINE, I. As leis do caos. São Paulo: Editora UNESP, 2002. 109p.
- PRIGOGINE, I. O fim das certezas. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1996. 199p.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. A nova aliança: metamorfose da ciência. 3 ed. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1997. 247p.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. Entre o tempo e a eternidade. São Paulo: Companhia das Letras, 1992. 226p.
- REBELLO, J. F.; SAKAMOTO, D. G. Agricultura sintrópica segundo Ernst Götsch. Ribeirão Preto: Reviver, 2021.

- ROZZI, R.; FEISINGER, P.; MASSARDO, F.; PRIMACK, R. Que es la diversidad biológica? In: PRIMACK, R.; ROZZI, R.; FEISINGER, P.; DIRZO, R.; MASSARDO, F. Fundamentos de conservación biológica. México DF, México: Fondo de cultura económica, 2001. 797 p.
- RICKLEFS, R.E. A economia da natureza. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S.A., 2003. 503 p.
- RUSSEL, J. B. Química geral. Vol. 2. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994. 1268 p.
- SCHULTEN, H.R.; SCHNITZER, M. A state of the art structural concept for humic substances. *Naturwissenschaften*, 80: 29-30, 1993.
- SCHWIDERKE, D. K. Estoque e ciclagem de nutrientes em sistema agroflorestal sucessional e floresta secundária no vale do Ribeira. Curitiba, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, 2013. 120 f. (Dissertação de Mestrado).
- SHTORACHE, G. F. Atributos físicos do solo em sistema agroflorestal multiestrata sucessional. Curitiba, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, 2013. 71 f. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O. de & CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. (Ed.) Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Genesis, 2000. 45 – 62p
- SILVEIRA, N.D. Sostenibilidad socioeconómica y ecológica de sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) en la microcuenca del Río Sesesmiles, Copán, Honduras. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 2005. 154 f. (Dissertação de Mestrado).
- SIMINSKI, A.; FANTINI, A. C.; GURIES, R.P.; RUSCHEL, A.R.; REIS, M. S. Secondary forest succession in the Mata Atlântica, Brazil: floristic and phytosociologic trends. *ISRN Ecology*, 2011: 1-19, 2011.
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC, ABEAS; Lavras: ESAL, FAEPE, 1988. 236 p.
- STAVER, C.; GUHARAY, F.; MONTEROSSO, D.; MUSCHLER, R.G. Designing pest-suppressive multiestrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems*, 53: 151-170, 2001.
- STEENBOCK, W. A arte de guardar o sol. Rio de Janeiro: Bambual Editora, 2021.
- STEENBOCK, W. Domesticação de bracatingais: perspectivas de conservação ambiental e inclusão social. Florianópolis, Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. 281 f. (Tese de Doutorado).
- STEENBOCK, W.; SILVA, R. O.; FROUFE, L. C. M.; SEOANE, C. E. S. Agroflorestas e sistemas agroflorestais no espaço e no tempo. In: STEENBOCK, W.; COSTA E SILVA, L.; SILVA, R. O.; RODRIGUES, A. S.; PEREZ-CASSARINO, J.; FONINI, R. Agrofloresta, ecologia e sociedade. Curitiba, Kairós, 2013a. p. 39 – 60.
- STEENBOCK, W.; SILVA, R. O.; VEZZANI, F. M.; MARTINS, P. J.; FROUFE, L. C. M.; SEOANE, C. E. S. Avaliação da dinâmica do carbono em agroflorestas desenvolvidas por agricultores associados à Cooperafloresta. In: STEENBOCK, W.; COSTA E SILVA, L.; SILVA, R. O.; RODRIGUES, A. S.; PEREZ-CASSARINO, J.; FONINI, R. Agrofloresta, ecologia e sociedade. Curitiba, Kairós, 2013b. p. 321 – 344.
- STEENBOCK, W.; SILVA, R. O.; VEZZANI, F. M.; SEOANE, C. E. S.; FROUFE, L. C. M.; Características estruturais das agroflorestas desenvolvidas no âmbito da Cooperafloresta. In: STEENBOCK, W.; COSTA E SILVA, L.; SILVA, R. O.; RODRIGUES, A. S.; PEREZ-CAS-

- SARINO, J.; FONINI, R. Agrofloresta, ecologia e sociedade. Curitiba, Kairós, 2013c. p. 345 – 362.
- TILMAN, D.; REICH, P. B.; KNOPS, J.; WEDIN, D.; MIELKE, T.; LEHMAN, C. Diversity and Productivity in a Long-Term Grassland Experiment. *Science*, 294: 843-845, 2001.
- TOREZAN, J.M.D. Estudo da sucessão secundária na Floresta Ombrófila Densa Submontana, em áreas anteriormente cultivadas pelo sistema de “coivara”, em Iporanga, SP. Dissertação de Mestrado. Curitiba, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Departamento de Botânica, Universidade Federal do Paraná, 1995. 89 f.
- VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. O solo como sistema. Curitiba: edição dos autores, 2011. 104p.
- von BERTALANFFY. The theory of open systems in physics and biology. *Science*, 111: 23 – 29, 1950.
- WRI/IUCN/UNEP (WORLD RESOURCES INSTITUTE/THE WORLD CONSERVATION UNION/UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME). Global Biodiversity Strategy: guidelines for action to save, study, and use Earth's biotic wealth sustainably and equitably. Washington, D.C.: WRI/IUCN/UNEP, 1992. 244 p.
- YAMAMURA, N. Diversity and evolution of symbiotic interactions. In: ABE, T.; LEVIN, S. A.; HIGASHI, M. (Eds.) Biodiversity: an ecological perspective. Kyoto: 1996. 294 p.
- YOUNG, A. 10 Hypotheses for soil-agroforestry research. *Agroforestry Today*, 1: 13-16, 1989.

