

Solos em Sistemas Agroecológicos

Editores: T. A. F. de Souza e D. Santos

EDIÇÃO DOS AUTORES

1ª Edição
Areia, 2017

SOLOS EM SISTEMAS AGROECOLÓGICOS

EDITORES:

TANCREDO A. F. DE SOUZA

DJAIL SANTOS

EDIÇÃO DOS AUTORES

1ª EDIÇÃO

AREIA, 2017

© 2017 *BY* TANCREDO AUGUSTO FEITOSA DE SOUZA E DJAIL SANTOS

NENHUMA PARTE DESTA PUBLICAÇÃO PODE SER REPRODUZIDA, POR QUALQUER MEIO OU FORMA, SEM A AUTORIZAÇÃO ESCRITA E PRÉVIA DO DETENTOR DO COPYRIGHT

DIREITOS DE PUBLICAÇÃO RESERVADOS AOS EDITORES/AUTORES

ISBN: 978-85-920166-4-7

Solos em Sistemas Agroecológicos

Editores: T. A. F. de Souza e D. Santos

Apresentação

Neste livro descrevemos os componentes dos agroecossistemas (sistemas agroecológicos) e dos ecossistemas naturais, suas funcionalidades e serviços no ambiente. Bem como, apresentamos as consequências das intervenções antrópicas sobre os agroecossistemas e ecossistemas naturais e os métodos capazes de garantir o uso sustentável, preservação e/ou restauração dos recursos em ambas as condições. Além disso, dedica-se uma parte de seu conteúdo à abordagem conceitual e à descrição dos organismos do solo e sua importância na sustentabilidade dos agroecossistemas e o seu papel na dinâmica de nutrientes. Todos os temas abordados neste livro foram objeto de estudo da disciplina optativa intitulada “Solos em sistemas agroecológicos” ofertada pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba. A seguir apresentamos resumidamente o conteúdo de cada um dos temas apresentados nesta obra.

Capítulo 1. O solo como ecossistema

No capítulo 1 mostramos os componentes do sistema solo (químico, físico e biológico) de uma forma geral e as relações ecológicas existentes dentro deste complexo sistema aberto. Fazemos uma abordagem sobre os processos de formação dos solos e sua classificação de acordo com a *Soil Taxonomy*. Em seguida, tratamos da descrição das funções que o solo ocupa no ambiente e sua relação com o crescimento, desenvolvimento e produção vegetal. Por fim, apresentamos separadamente os três componentes do sistema solo (as propriedades físicas, as propriedades químicas e as propriedades biológicas).

Capítulo 2. Sistemas de Agricultura Sustentável

No capítulo 2 abordam-se as relações hídricas e a sua participação na sustentabilidade de sistemas agrícolas. Neste capítulo destaca-se o manejo estratégico para a sustentabilidade da fertilidade do solo e enfatiza-se o manejo do solo, o manejo cultural, o manejo de plantas daninhas e o manejo de artrópodes indesejáveis nos sistemas agroecológicos. Por fim, fazemos uma abordagem econômica da agricultura sustentável e fazemos uma analogia de como tornar a agricultura sustentável a “nova agricultura convencional”.

Capítulo 3. A Agroecologia e a agricultura familiar no semiárido

No capítulo 3 ressalta-se as bases teóricas da Agroecologia e o conceito de agroecossistemas. Apresentamos os processos e atividades relacionadas à transição para a sustentabilidade e como são caracterizados os solos dos

ecossistemas naturais e agroecossistemas do Agreste da Paraíba, Brasil. Por fim, fazemos uma abordagem mais prática com a apresentação de estudos de caso relacionando a conversão agroecológica de sistemas de agricultura familiar no Agreste paraibano.

Capítulo 4. Fertilidade do Solo em Agroecossistemas

No capítulo 4 destaca-se os fatores que influenciam o crescimento, desenvolvimento e produtividade vegetal. Ressalta-se também os processos envolvidos na relação solo-planta, a nutrição mineral de plantas, a acidez/alcalinidade do solo e sua correção e os teores de matéria orgânica do solo. De maneira objetiva são apresentados os macro- e micronutrientes e suas principais reações no solo. Descrevem-se os métodos de manejo da adubação, da fertilidade do solo e da sustentabilidade da atividade agrícola.

Capítulo 5. Biodiversidade do Solo em Agroecossistemas

Finalmente, no capítulo 5 são abordados os organismos do solo em agroecossistemas cuja importância vem sendo revelada nos últimos anos. Apresentamos separadamente a diversidade e função de alguns grupos como a macrofauna, mesofauna, nematoides, fungos do solo (Filos Ascomycota e Basidiomycota), fungos micorrízicos arbusculares (Filo Glomeromycota), bactérias do solo e bactérias fixadoras de nitrogênio. Além disso, descrevemos alguns bioindicadores de impactos ambientais, processos envolvendo o controle microbiano de pragas e por fim o papel dos organismos do solo e da qualidade do solo na sustentabilidade dos agroecossistemas.

Esperamos que este livro possa contribuir para a formação dos recursos humanos em nível de pós-graduação que, no futuro irão participar das tomadas de diversas decisões em áreas relacionadas as Ciências do Solo no nosso país, e que eles considerem que o solo em sistemas agroecológicos não representa apenas um fruto da utilização de um sistema alternativo, mas também um sistema aberto que mais se assemelha as características apresentadas pelos ecossistemas naturais.

Os autores

Prefácio

Quando iniciamos a disciplina de Solos em Sistemas Agroecológicos observamos a carência de materiais didáticos referentes a esta temática, principalmente sobre temas relacionando o solo como um “ecossistema” e sobre a caracterização de solos em agroecossistemas. Existe uma vasta literatura disponibilizada na internet que aborda o solo apenas considerando seus aspectos químicos e físicos (nestas o solo é visto apenas como substrato para o desenvolvimento vegetal, sendo bastante relatado em áreas como física do solo, química do solo e fertilidade), outras apenas considerando o componente biológico (onde são caracterizados os grupos de macro-, meso- e microfauna em tópicos relacionados com a biologia do solo), e a minoria delas considerando estes três componentes como indicadores de qualidade do solo.

Então, durante a disciplina decidimos convidar os docentes para escrever um livro com base nos tópicos, seminários e relatórios apresentados e elaborados na sala de aula. Esta obra é voltada aos estudantes de pós-graduação com objetivo de caracterizar o solo em sistemas agroecológicos, considerando os fatores físicos, químicos e biológicos que constituem os componentes bióticos e abióticos deste fantástico ecossistema e compara-lo em condições de sistemas naturais e sistemas de agricultura convencional.

Neste material fizemos uma compilação de diversos livros, artigos científicos e protocolos. Nosso foco aqui é oferecer ao leitor informações-chave sobre o solo como ecossistema, os componentes bióticos e abióticos, sistemas de agricultura sustentável, bases teóricas da Agroecologia, fertilidade e biodiversidade do solo em agroecossistemas. Após finalizar este material, esperamos que o leitor tenha capacidade de caracterizar, classificar e estudar o solo como um ecossistema aberto, dinâmico e mutável. Considerando que mínimas alterações nos seus componentes possam desencadear mudanças na funcionalidade e sustentabilidade do ambiente com consequências para a vida na terra.

De fato, o leitor entenderá que estudar o solo considerando-o como um ecossistema será mais prazeroso do que considerá-lo apenas como um substrato com características químicas e físicas específicas. Pois, dessa forma será possível a aplicação de conceitos oriundos de diferentes áreas da ciência, como: (1) Ecologia de ecossistemas; (2) Química do Solo; (3) Física do solo; (4) Gênese e mineralogia do solo; (5) Fertilidade do solo; (6) Biologia do solo; (7) Microbiologia do solo; (8) Bioquímica do solo; e (9) Agroecologia. Reforço, que nosso objetivo com este material é fornecer informações-chave sobre os 9 tópicos supracitados. E com imensa satisfação apresento a você, caro leitor, “O Solo em Sistemas Agroecológicos”. Boa leitura!

Tancredo A. F. Souza

Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, Brasil – 15 de março de 2017

Autores



Tancredo Augusto Feitosa de Souza, natural de Esperança, PB, Brasil. Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba, Mestrado em Manejo do Solo e Água pela UFPB, e Doutorado em Ciência do Solo pela UFPB/Universidade de Coimbra, Portugal. Atualmente Bolsista Pós-Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela UFPB. Estuda as interações entre plantas exóticas e fungos micorrízicos arbusculares e as suas consequências sobre o processo de invasão biológica e diversidade de plantas nativas nos Biomas Caatinga/Brasil.



Djail Santos, natural de Quinta do Sol, PR, Brasil. Possui graduação em Agronomia pela Universidade Estadual do Norte do Paraná, Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Lavras e Doutorado em Crop and Soil Sciences pela Michigan State University. Atualmente é professor titular do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, atuando nas áreas de manejo e conservação do solo e água, sistemas de produção, aptidão agrícola de terras, agroecologia, agricultura orgânica e agricultura familiar.



Edjane Oliveira de Lucena, natural de Patos, PB, Brasil. Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Campina Grande, Mestrado em Ciências Florestais pela UFCG. Atualmente Doutoranda em Ciência do Solo pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Área de pesquisa em Ciclos Biogeoquímicos, com ênfase em estudo de espécies invasoras.



Alexandre José da Silva, natural de Mari, PB, Brasil. Possui graduação em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Campina Grande. Especialista em Engenheira de Segurança do Trabalho e Engenheiro de Segurança do Trabalho pela Faculdade Integrada de Patos. Atualmente Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Área de pesquisa em Solos e Nutrição de Plantas com ênfase em características de solos ocupados por populações de *Calotropis procera* (Aiton.) W. T. Aiton: a influência do meio edáfico no processo de invasão biológica.



Fernando José da Silva, natural de Palmares, PE, Brasil. Possui graduação em Agroecologia pela Universidade Federal da Paraíba. Técnico em Agropecuária pela Colégio Agrícola Vidal de Negreiros/UFPB. Atualmente Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo. Área de pesquisa em Solos e Nutrição de Plantas com ênfase em fixação biológica de N em plantas de *Vigna unguiculata* (L.) Walp. em resposta a adubação nitrogenada e potássica.



Samuel Inocêncio Alves da Silva, natural de João Pessoa, PB, Brasil. Possui graduação em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba. Mestrado em Agronomia pela UFPB. Especialista em fisiologia vegetal e fitotecnia. Atualmente Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Solo. Área de pesquisa em Solos e Nutrição de Plantas com ênfase manejo e conversação de áreas degradadas e áreas de agricultura familiar.



Begna Janine da Silva Lima, natural de Catolé do Rocha, PB, Brasil. Possui graduação em Agronomia pela UFPB (2014), Mestrado em Ciência do Solo pela UFPB. Atualmente Doutoranda em Ciência do Solo, também pela UFPB. Atua na linha de pesquisa Ciclos Biogeoquímicos em Agroecossistemas Familiares.



Ailson de Lima Marques, natural de Areia, PB, Brasil. Possui graduação em Geografia e especialização em Gestão Ambiental. Atualmente é mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, com ênfase em pedologia e morfologia de solos de brejos de altitude.

Sumário

PREFÁCIO	5
AUTORES	6
CAPÍTULO 1	10
O SOLO COMO ECOSISTEMA	10
1.1 INTRODUÇÃO	11
1.2 ECOSISTEMA VS. AGROECOSISTEMAS	13
1.3 COMPONENTES DO ECOSISTEMA SOLO	14
1.4 RELAÇÕES ECOLÓGICAS	16
1.5 FORMAÇÃO DOS SOLOS	20
1.6 CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS	22
1.7 ATRIBUTOS DE QUALIDADE FÍSICA DO SOLO	25
1.7.1 POROSIDADE DO SOLO	26
1.7.2 DENSIDADE DO SOLO	26
1.7.3 TEXTURA DO SOLO	27
1.7.4 ESTABILIDADE DOS AGREGADOS	28
1.8 ATRIBUTOS DE QUALIDADE QUÍMICA DO SOLO	29
1.8.1 PROCESSOS QUE CAUSAM ACIDEZ E ALCALINIDADE DOS SOLOS	30
1.8.2 pH DO SOLO E SEUS EFEITOS BIOLÓGICOS	32
1.8.3 ALUMÍNIO	32
1.8.4 SOLOS EM REGIÕES ÁRIDA E SEMIÁRIDAS	33
1.8.5 SOLOS AFETADOS POR SAIS	33
1.8.6 MATÉRIA ORGÂNICA	34
1.9 ATRIBUTOS DE QUALIDADE BIOLÓGICA DO SOLO	35
1.9.1 ORGANISMOS DO SOLO	35
1.9.2 MACROFAUNA	36
1.9.3 MESOFAUNA	36
1.9.4 MICROFAUNA	37
1.9.5 RAÍZES E RIZOSFERA	37
1.10 MANEJO PRÁTICO DE NUTRIENTES	38
1.10.1 RECICLAGEM DE NUTRIENTES	39
1.10.2 UTILIZAÇÃO PRÁTICA DE FONTES DE MATÉRIA ORGÂNICA	39
1.11 REFERÊNCIAS	40
CAPÍTULO 2	46
SISTEMAS DE AGRICULTURA SUSTENTÁVEL	46
2.1 INTRODUÇÃO	47
2.2 RELAÇÕES HÍDRICAS E A SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS AGRÍCOLAS	47
2.2.1 CORRELAÇÕES HÍDRICAS DA REGIÃO SEMIÁRIDA DO BRASIL	48
2.2.2 RECURSOS HÍDRICOS, POLÍTICAS PÚBLICAS E A BUSCA PELA SUSTENTABILIDADE NO SEMIÁRIDO ..	49
2.3 MANEJO DO SOLO	52
2.4 MANEJO CULTURAL	54
2.5 MANEJO DE PLANTAS DANINHAS	56
2.5.1 MANEJO INTEGRADO	58
2.6 MANEJO DE ARTRÓPODES INDESEJÁVEIS	60
2.6.1 FAUNA DO SOLO: ARTRÓPODES	60
2.6.2 MANEJO INTEGRADO DE PRAGAS	61
2.7 FAZENDO A AGRICULTURA SUSTENTÁVEL A “NOVA AGRICULTURA CONVENCIONAL”	64

2.7.1 PERSPECTIVA HISTÓRIA DA AGRICULTURA CONVENCIONAL.....	64
2.8 REFERÊNCIAS	66
CAPITULO 3.....	72
A AGROECOLOGIA E A AGRICULTURA FAMILIAR NO SEMIÁRIDO	72
3.1 INTRODUÇÃO A AGROECOLOGIA	73
3.2 O CONCEITO DE AGROECOSSISTEMAS.....	74
3.3 FAZENDO A TRANSIÇÃO PARA A SUSTENTABILIDADE.....	76
3.3.1 O QUE SERIA TRANSIÇÃO?	77
3.3.2 COMO REALIZAR?.....	77
3.3.3 PASSOS PARA A CONVERSÃO.....	78
3.4 ECOSISTEMAS NATURAIS E AGROECOSSISTEMAS DO ESTADO DA PARAÍBA, BRASIL	79
3.4.1 OS BREJOS DE ALTITUDE	80
3.4.2 O BREJO ALTITUDE DE AREIA (PB).....	82
3.4.3 A PAISAGEM DE BREJO DE ALTITUDE DE AREIA-PB E OS IMPACTOS DOS SISTEMAS CONVENCIONAIS DE MANEJO DO SOLO	83
3.5 REFERÊNCIAS	84
CAPITULO 4.....	87
FERTILIDADE DO SOLO EM AGROECOSSISTEMAS	87
4.1 RELAÇÃO SOLO-PLANTA	88
4.1.1 A ÁGUA NO SISTEMA SOLO-PLANTA-ATMOSFERA.....	89
4.1.2 A ÁGUA NOS SISTEMAS METABÓLICOS VEGETAIS.....	89
4.1.3 MOVIMENTO DE ÁGUA NAS FOLHAS DAS PLANTAS	90
4.1.4 MOVIMENTO DA ÁGUA NO CAULE DAS PLANTAS	90
4.1.5 MOVIMENTO DA ÁGUA NAS RAÍZES.....	91
4.1.6 TRANSPIRAÇÃO NA PLANTA	91
4.1.7 GUTAÇÃO NA PLANTA.....	92
4.1.8 DÉFICIT HÍDRICO	92
4.1.9 CLASSIFICAÇÃO DE PLANTAS QUANTO AO DÉFICIT HÍDRICO	92
4.1.10 A PRESERVAÇÃO DO EQUILÍBRIO DO SISTEMA ÁGUA-SOLO-PLANTA-ATMOSFERA NOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS.....	93
4.2 NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS E MANEJO DA ADUBAÇÃO	94
4.2.1 MANEJO DA ADUBAÇÃO	99
4.3 ACIDEZ/ ALCALINIDADE DO SOLO E SUA CORREÇÃO	101
4.3.1 ACIDEZ NO SOLO	101
4.3.2 ALCALINIDADE NO SOLO.....	102
4.3.3 COMO CORRIGIR O SOLO?.....	103
4.3.4 SOLOS ÁCIDOS.....	104
4.3.5 SOLOS ALCALINOS	106
4.3.6 INCORPORAR MATÉRIA ORGÂNICA	106
4.3.7 ADIÇÃO DE ENXOFRE ELEMENTAR	107
4.3.8 FERTILIZANTES NITROGENADOS	107
4.3.9 LEGUMINOSAS NO SOLO	107
4.4 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	107
4.4.1 PROCESSO DE DECOMPOSIÇÃO NOS SOLOS	108
4.4.2 PROPRIEDADES DO SOLO INFLUENCIADAS PELA MATÉRIA ORGÂNICA.....	109
4.5 MACRONUTRIENTES	110
4.5.1 NITROGÊNIO	110
4.5.2 FÓSFORO (P)	112

4.5.3 POTÁSSIO (K).....	114
4.5.4 MAGNÉSIO (MG).....	115
4.5.5 CÁLCIO (CA).....	116
4.5.6 ENXOFRE.....	117
4.6 REFERÊNCIAS.....	118
CAPÍTULO 5.....	127
BIODIVERSIDADE DO SOLO EM AGROECOSSISTEMAS.....	127
5.1 MACROFAUNA.....	128
5.2 BIOINDICADORES DE IMPACTOS AMBIENTAIS.....	133
5.2.1 SUSTENTABILIDADE EM AGROECOSSISTEMAS.....	134
5.2.2 Os BIOINDICADORES.....	135
5.2.3 MICRORGANISMOS E MINHOCAS COMO BIOINDICADORES.....	135
5.3 MESOFAUNA.....	136
5.3.1 ÁCAROS.....	137
5.3.2 COLÊMBOLOS.....	138
5.3.3 METODOLOGIA PARA COLETA DE MESOFAUNA.....	139
5.4 ANELÍDEOS.....	140
5.4.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MINHOCAS.....	140
5.4.2 EFEITO DAS MINHOCAS SOBRE O SOLO.....	141
5.4.3 FATORES QUE AFETAM A ATIVIDADE DAS MINHOCAS.....	142
5.4.4 METODOLOGIA PARA EXTRAÇÃO DE MINHOCAS DO SOLO.....	142
5.5 NEMATOIDES.....	143
5.5.1 GRUPOS TRÓFICOS DE NEMATOIDES.....	144
5.5.2 FUNÇÕES ECOLÓGICAS DOS NEMATOIDES NO SOLO.....	144
5.5.3 METODOLOGIA PARA IDENTIFICAÇÃO DE NEMATOIDES.....	145
5.6 FUNGOS DO SOLO (FILOS ASCOMYCOTA E BASIDIOMYCOTA).....	146
5.7 FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES.....	149
5.7.1 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DOS FUNGOS MICORRÍZICOS DO SOLO.....	150
5.8 BACTÉRIAS DO SOLO.....	151
5.8.1 PRESENÇA E IMPORTÂNCIA DE BACTÉRIAS NO SOLO.....	154
5.8.2 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE BACTÉRIAS DO SOLO.....	155
5.9 BACTÉRIAS FIXADORAS DE N.....	157
5.9.1 COLETA E AVALIAÇÃO DE BACTÉRIAS FIXADORAS DE NITROGÊNIO NODULÍFERAS DE LEGUMINOSAS.....	162
5.10 REFERÊNCIAS.....	164
OS AUTORES.....	175

Capitulo 1

O SOLO

COMO

ECOSSISTEMA

Edjane Oliveira de Lucena

Alexandre José da Silva

Fernando José da Silva

Samuel Inocência Alves da Silva

Ailson de Lima Marques

Begna Janine da Silva Lima

Tancredo Augusto Feitosa de Souza

Djail Santos

1.1 Introdução

O ecossistema [grego *oikos* (casa) + *systema* (sistema onde se vive)] é formado pela interação entre todos os componentes bióticos e abióticos que interagem entre si (Figura 1.1). Esses componentes são constituídos por fatores que agem de forma simultânea no ambiente (Odum 1989). Dentre os fatores constituintes dos componentes bióticos podemos citar os organismos vivos (plantas, animais e microrganismos) e como constituintes dos componentes abióticos podemos citar os fatores externos, como disponibilidade hídrica, radiação, vento, propriedades físicas e químicas do solo. Dessa forma, podemos classificar diversos ecossistemas com base nas suas características climáticas, edáficas, populacionais (animal e vegetal) e ambientais. E como fruto do equilíbrio e da interação entre estes diversos ecossistemas, temos a formação da biosfera (Kozioski e Ciocca 2000).

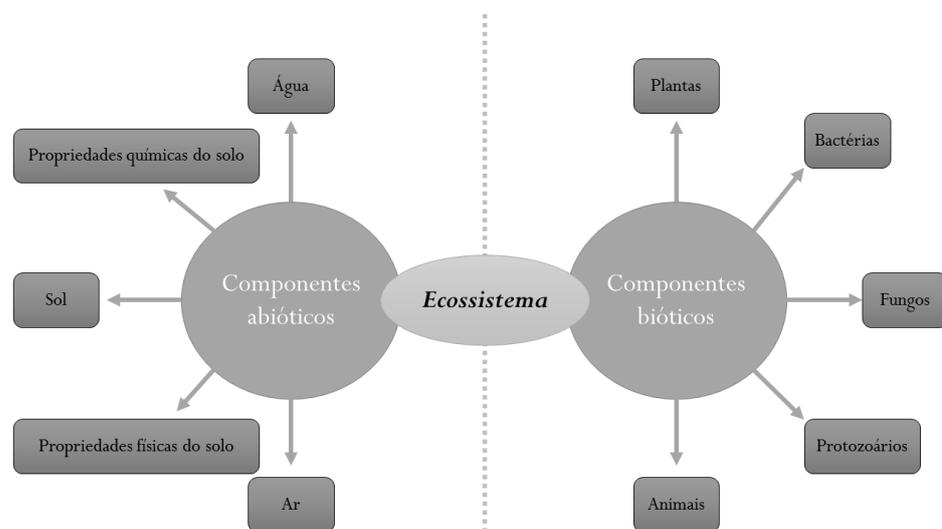


Figura 1.1 Componentes constituintes do Ecosistema

Para entender melhor o ecossistema é necessário o conhecimento de seus componentes. Nesse contexto, podemos descrever baseados na fig. 1.1 que os componentes do ecossistema são formados por:

(a) Componentes bióticos relacionados a tudo que apresenta vida dentro do ambiente, como os organismos presentes nos domínios Archaea, Bacteria e Eucarya (Descrevemos mais detalhadamente estes domínios na Tabela 1.1) responsáveis por processos biológicos importantes para a manutenção da vida terrestre como a ciclagem de nutrientes, a decomposição da matéria orgânica, o controle biológico populacional de pragas e doenças, a produção de antibióticos e outros compostos orgânicos, a formação de agregados e a produção de alimentos e fibras;

(b) Componentes abióticos que são aqueles representados pelo clima, temperatura, precipitação, fatores químicos (ex. matéria orgânica do solo, pH do solo, concentração e disponibilidade de nutrientes) e físicos do solo (ex. agregação, textura, porosidade e densidade) são responsáveis pela manutenção do equilíbrio do ecossistema. Dessa forma os componentes abióticos mantêm os níveis populacionais ideais de cada grupo constituinte do componente biótico (Coelho et al. 2013).

Tabela 1.1 Grupos de organismos relacionados com os fatores bióticos que compõem o ecossistema

Domínio	Função no Ecossistema
Domínio Archaea	Transformadores procarióticos
Domínio Bacteria	Transformadores procarióticos Simbiontes Patógenos Controle Biológico
Domínio Eucarya	Engenheiros do ecossistema Transformado de serapilheira Controle biológico Consumidores Predadores Patógenos Produtores primários Simbiontes Decompositores

Adaptado de Moreira et al. 2013

Esses organismos vivos citados na tabela 1.1 possuem funções importantes e específicas no ecossistema dentre as quais podemos destacar:

- (1) *Transformadores procarióticos* - Organismos que realizam transformações específicas nos ciclos do carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre;
- (2) *Engenheiros de ecossistema* - Organismos com forte influência sobre os fatores químicos e físicos do solo;
- (3) *Transformadores de serapilheira* - Organismos que se alimentam de detritos de material orgânico tornando-os mais acessíveis para os decompositores;
- (4) *Simbiontes* - Organismos que estão associados simbioticamente (associação positiva mutualística) com outros organismos (chamados de hospedeiros);
- (5) *Patógenos* - Organismos que são capazes de produzir doenças em outros organismos e obter nutrientes e energia a partir de organismos vivos;
- (6) *Controle biológico* - Organismos que controlam a população de herbívoros, patógenos, predadores e outros organismos do solo através de processos de controle biológico;
- (7) *Consumidores* - Organismos que adquirem energia através do consumo de outro organismo vivo;
- (8) *Predadores* - Organismos capazes de regular a população de outros organismos do solo através da predação;
- (9) *Produtores primários* - Organismos com metabolismo fotoautotrófico que assimilam dióxido de carbono da atmosfera;

(10) *Herbívoros* - Organismos que consomem e digerem material vegetal vivo;

(11) *Decompositores* - Organismos que são capazes de produzir enzimas que degradam substratos complexos (orgânicos e inorgânicos) em formas mais simples para adquirir energia;

(12) *Microrreguladores* - Organismos que são capazes de regular ciclos biogeoquímicos.

(13) *Saprófagos* - Organismos que vivem sobre material orgânico em decomposição;

E baseados nestes 13 grupos podemos definir quatro grupos funcionais de organismos constituintes do componente biótico: (i) decomposição da matéria orgânica; (ii) ciclagem de nutrientes; (iii) bioturbação; e (iv) controle de pestes e doenças. Em conjunto os componentes abióticos e bióticos influenciam os ciclos (ex. ciclo do carbono, ciclo do nitrogênio e ciclo da água) que ocorrem dentro do ecossistema (Moreira et al. 2013).

1.2 Ecossistema vs. Agroecossistemas

As diferenças entre ecossistema e agroecossistemas relacionam-se ao funcionamento interno, funcionamento externo e composição. No ecossistema, encontramos uma maior diversidade do componente biótico contribuindo para maior estabilidade na produção de biomassa, maior resiliência¹, maior diversidade de habitats e maiores taxas ciclagem de nutrientes. Enquanto o agroecossistema² apresenta menor diversidade do componente biótico (Em Agroecossistemas as culturas anuais são parte obrigatória do componente biótico), e o seu funcionamento é influenciado significativamente pela atividade antrópica, com menor produção de biomassa, baixa capacidade de regeneração e menor ciclagem de nutrientes (Odum 1989; Moreira et al. 2013).

A substituição da vegetação nativa de ecossistemas naturais (ex. Mata Atlântica, Caatinga, etc) para uso do solo em cultivos agrícolas (Agroecossistemas) com o revolvimento do solo, rotação de culturas e aplicação de defensivos (ex. agroquímicos, herbicidas, inseticidas e fungicidas) causam alterações significativas nas características iniciais dos ecossistemas naturais. Como consequência da modificação do ambiente pode ocorrer perda do equilíbrio existente resultando na degradação do ecossistema e com impactos negativos sobre a produtividade de agroecossistemas (Hu et al. 1997). No Brasil, grandes áreas de vegetação natural foram e ainda são substituídas por diferentes culturas de importância agrícola, como por exemplo, a retirada da vegetação para implantação de pastagens, canaviais, fruticultura, horticultura e/ou cultivos com culturas anuais. Essas alterações no uso do solo causam desequilíbrio no ecossistema natural, tendo em vista a adoção de técnicas de manejo empregadas que influenciam na modificação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, e, muitas vezes, podem propiciar sua degradação inviabilizando a utilização ou aproveitamento agrícola do solo (Santos 2007). A função do solo não está ligada apenas em prover suporte para os sistemas agrícolas, mas, especialmente em manter a qualidade do ecossistema seja em nível local ou regional (Louzada e Zanetti 2013).

A Biosfera é a parte da camada terrestre onde encontra-se os seres vivos, o termo biosfera foi originado em 1875 pelo geólogo Eduard Suess, o qual definiu que a Biosfera é o espaço da camada da terra onde é habitado pelos seres vivos, incluindo geosfera (camada superior do solo), hidrosfera, litosfera e a atmosfera. O ecossistema solo faz parte da interação da biosfera, sendo o solo resultante da interação de fatores ambientais, como: material de origem, clima, relevo, tempo e ação dos microrganismos. Os solos são formados pelos fatores ambientais supracitados, mas seu material de origem pode apresentar diferentes tipos de rochas encontrada na crosta terrestre, por esse motivo

¹ Propriedade que alguns organismos e corpos apresentam de retornar à forma original após terem sido submetidos a algum tipo de estresse;

² Também pode ser considerado como ecossistema solo;

existem várias classes de solos e conseqüentemente cada uma apresenta-se como um ecossistema específico, diferenciado, e com características químicas, física, biológicas próprias. Assim como nos ecossistemas, no ecossistema solo (agroecossistema) podemos encontrar uma vasta diversidade de organismos vivos como: bactérias, líquens, fungos, minhocas e vários outros microrganismos (Coelho et al. 2013).

1.3 Componentes do ecossistema solo

Ecossistemas são áreas com características homogêneas de organismos que interagem em função da manutenção do ambiente, onde os grupos dos seres vivos compõem parte do componente principal que interligam os elementos abióticos do habitat, tendo em vista que a ausência desses componentes no ambiente limita a manutenção dos ecossistemas. Desse modo, ecossistema pode ser entendido como sendo qualquer unidade que inclui o conjunto de organismos presentes em uma determinada localidade, no qual interagem com o ambiente físico promovendo fluxo de energia entre os componentes vivos e abióticos (Odum 1971).

O solo é formado a partir de um conjunto de componentes que atuam interligados para proporcionar a sua sobrevivência, dentre eles temos os componentes abióticos ou componentes externos como material de origem, clima, tempo, luminosidade, vento, condições químicas e físicas, e componentes bióticos que incluem os seres vivos, como a fauna, a flora e microrganismos (Fig. 1.2). Assim, o solo é considerado um ecossistema devido sua formação incluir participação dos componentes bióticos e abióticos, e qualquer alteração de um único componente podem causar mudanças no sistema natural, e conseqüentemente, pode gerar um desequilíbrio (Moreira et al. 2013).

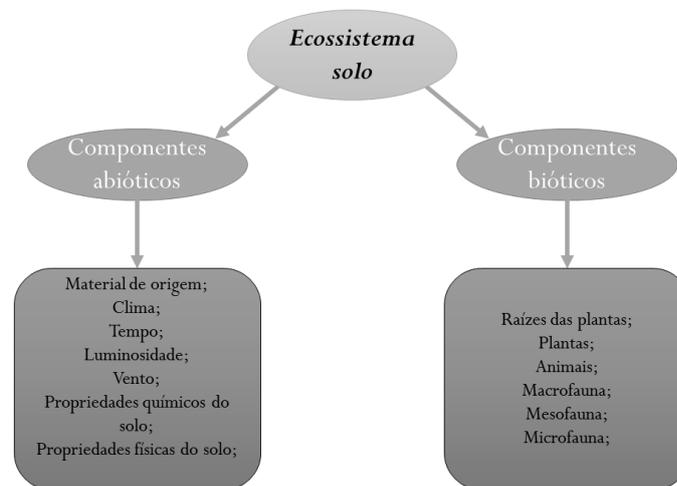


Figura 1.2 Componentes do ecossistema solo (Adaptado de Lucena 2017).

O solo proporciona um habitat natural para os mais variados organismos, que são formados por tamanhos e metabolismos diferentes, e essa comunidade que tem papel fundamental na estruturação do solo é denominada de biota do solo. De uma forma ampla estes organismos do solo também chamados de fauna edáfica foram divididos em três grupos: a macrofauna, mesofauna e microfauna (Melo et al. 2009). Esses organismos são classificados de acordo com sua similaridade de metabolismo, características morfológicas, bioquímicas, genéticas e fisiológicas, entretanto a maioria desses organismos ainda é desconhecida (Moreira e Campos 2013). A biota do solo exerce uma

contribuição determinante nos processos edáficos sendo responsáveis pela decomposição da matéria orgânica, ciclagem dos nutrientes, fragmentação da serapilheira, controle biológico, degradação de substâncias tóxicas e bioturbação³ (Sanginga et al. 1992; Lavelle et al. 1993; Baretta et al. 2011).

A macrofauna engloba todos os organismos com tamanho superior a 2 mm (Moreira et al. 2010). Este grupo de organismos desempenha um importante papel no solo, isso devido sua atividade de fragmentação dos resíduos orgânicos, que homogeneiza as frações mineral e orgânica favorecendo a ciclagem de nutrientes e melhorando a estrutura do solo (Baretta et al. 2007). A mesofauna também pode influenciar diretamente nos processos pedológicos do solo, através de transformações na estrutura e mineralogia dos elementos (Oliveira et al. 2014). Já a mesofauna inclui todos os organismos com comprimento médio entre 0,2 e 2,0 mm (Berude et al. 2015), que participam das atividades tróficas relacionadas com o consumo da microfauna, bem como a fragmentação de material vegetal em decomposição (Morais et al. 2013). E por fim, a microfauna que inclui todos os fungos, bactérias e nematoides do solo. A microfauna participa ativamente no processo de decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes e também contribuem na biomassa e no metabolismo respiratório do solo (Toledo 2003; Lejon et al. 2005).

Outro constituinte da biota edáfica que merece especial atenção é a zona que circunda o sistema radicular das plantas, a Rizosfera. Esta porção de solo é formada por domínios funcionais, ou também entendida como o volume de solo influenciado pelas raízes das plantas, sendo esses domínios compostos de ações reguladoras do sistema solo, como por exemplo, as plantas, a fauna do solo, as condições edafoclimáticas entre outras (LAVELLE, 2000). Na camada da rizosfera, a atividade microbiana e enzimática é bastante intensa (Figura 1.3) em função da abundância de exsudados e das secreções radiculares que contêm elevadas quantidades de carbono que estão prontamente disponíveis para a microbiota (Rosado 2000).

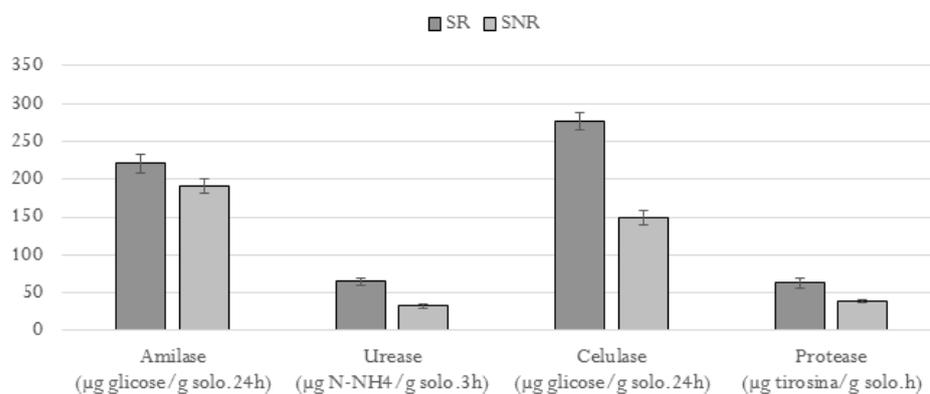


Figura 1.3 Atividade enzimática em solo rizosférico (SR) e não-rizosférico (SNR) (média \pm desvio padrão, $N = 20$, adaptado de Cordeiro et al. 2012)

O solo é responsável por manter a vida no planeta através da regularização de seus processos biológicos, químicos e físicos além da produção de alimentos para suprimento da população humana. Dentre esses podemos citar: (i) os processos biológicos: controle de patógenos, biomassa e respiração microbiana; (ii) os processos químicos: decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, produção de húmus, ácidos orgânicos, controle do pH e capacidade de troca catiônica; e (iii) processos físicos: formação de agregados, textura, porosidade, densidade, profundidade e infiltração da água no perfil do solo (Moreira et al. 2013).

³ No processo de bioturbação os organismos do solo melhoram a aeração e infiltração da água através da formação de galerias no perfil através da sua movimentação;

Santos (2007), avaliando as propriedades física e química do solo em diferentes ecossistemas, relatou diferenças nos teores de carbono orgânico do solo, comprovando que o uso do solo sem práticas de conservação, a remoção da vegetação e o monocultivo causam modificações nos teores de carbono orgânico do solo (Figura 1.4). Segundo o mesmo autor, os valores de carbono orgânico encontrados na área de mata nativa (Eco1) foram superiores aos obtidos na área de horticultura (Eco2) e pastagem (Eco3) na camada de 0,0 a 0,2 cm. Sendo observado reduções no teor de carbono orgânico no solo na ordem de 28,4 e 8,5% nas áreas de horticultura e pastagem, respectivamente. Isto se deve principalmente pelo acúmulo contínuo de serapilheira no Eco1. O autor relata também que não há diferenças estatísticas entre o Eco1 e Eco3, e justifica que tal fenômeno se deve ao fato de que o carbono orgânico se concentra na camada mais superficial do solo, onde ocorre maior acúmulo de raízes das gramíneas formadoras da pastagem.

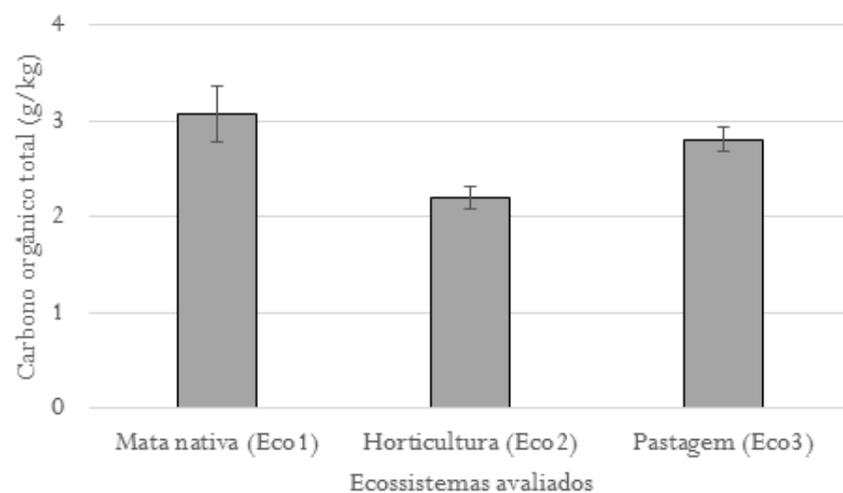


Figura 1.4 Carbono orgânico total (g kg^{-1} , média \pm desvio padrão, $N = 40$) em diferentes ecossistemas na camada de 0,0 a 0,20 cm de profundidade do solo (Adaptado de Santos 2007).

1.4 Relações ecológicas

Em todos os ecossistemas, dentro do componente biótico os indivíduos se relacionam (interagem) entre si, sejam eles da mesma espécie (intraespecíficas ou homotípicas) ou de espécies diferentes (interespecíficas ou heterotípicas). Essas relações/interações podem ser harmônicas ou desarmônicas e segundo Lopes e Rosso (2010) podem ser classificadas como:

- (a) Relações intraespecíficas harmônicas (Sociedade e colônias): São associações entre indivíduos da mesma espécie agrupados de um modo cooperativo, não ligados anatomicamente (sociedade) e/ou com elevado grau de dependência entre si (colônia);
- (b) Relações intraespecíficas desarmônicas (competição⁴ e canibalismo⁵): São associações entre espécies iguais, na qual ocorre prejuízo para pelo menos uma espécie;

⁴ É quando ocorre entre duas espécies iguais a disputa por recursos limitados para todos os indivíduos da comunidade;

⁵ É a relação de predação em que organismos de uma determinada espécie se alimentam de outros seres da sua própria espécie;

- (c) Relações interespecíficas harmônicas (simbiose⁶, protocooperação⁷, inquilinismo⁸ e comensalismo⁹): São associações entre espécies distintas em que pelo menos um dos indivíduos envolvidos na interação é beneficiado;
- (d) Relações interespecíficas desarmônicas (antibiose¹⁰, predação¹¹, herbivorismo¹², parasitismo¹³ e sinfilia¹⁴): São relações entre espécies diferentes, na qual há um prejuízo para pelo menos um dos lados.

O conhecimento destas interações é de fundamental interesse para a biologia do solo. A pedobiologia ou biologia do solo é uma ciência relativamente nova, cuja grande abrangência reflete a própria complexidade de organismos constituintes do solo e de suas atividades nos processos pedológicos (Moreira et al. 2013). Seu estudo pode ser feito através:

- (i) Da identificação de grupos de organismos (fauna e microrganismos) (Berthelin et al. 1994);
- (ii) De processos envolvendo os ciclos biogeoquímicos (ciclo do carbono, ciclo do nitrogênio, ciclo do enxofre e ciclo do fósforo);
- (iii) Da atividade enzimática (celulase, urease e β -glucosidase);
- (iv) Da caracterização de grandes ecossistemas (Savanas Tropicais, Florestas de Clima Temperado, Florestas Tropicais, etc.) (Vargas e Hungria 1997).

As relações podem ocorrer entre indivíduos de uma mesma população ou entre indivíduos de populações diferentes, promovendo uma conexão entre diferentes espécies (Por exemplo, as relações ecológicas entre a micro-, a meso-, a macrofauna e as raízes de plantas (rizosfera), desencadeiam vários processos que podem ser benéficos para as plantas e para os outros organismos envolvidos) (Manhaes e Francelino 2013). O componente biótico do solo interfere em diferentes níveis hierárquicos, apresentando serviços e funcionalidades heterogêneas no ecossistema (por exemplo, atuando na formação de agregados do solo) que influenciam por sua vez nos atributos físicos, químicos, biológicos e na formação dos solos (Oades e Waters 1991; Lopes Assad et al. 1997). O componente biótico é, portanto, bastante variável e influenciado pelos seguintes fatores:

- (i) Tipo de solo;
- (ii) Condições climáticas;
- (iii) Composição da vegetação.

Dessa forma, uma mesma região pode apresentar ecossistemas diferentes baseados nestes três componentes (Moreira e Siqueira 2006; Manhaes e Francelino 2013; Lopes Assad et al. 1997). Portanto, a compreensão do papel do componente biótico no funcionamento do solo exige o conhecimento de suas principais características

⁶ É a associação entre indivíduos de espécies diferentes em que ambas as espécies vivem em íntima associação e precisam um do outro para sobreviver;

⁷ É a associação entre indivíduos de espécies diferentes em que ambas as espécies dependem um do outro para sobreviver, no entanto vivem de modo independente, sem que isso as prejudique;

⁸ É um tipo de associação em que uma espécie se abriga no corpo de uma espécie hospedeira, sem causar qualquer prejuízo para a mesma;

⁹ É um tipo de associação entre indivíduos onde um deles se aproveita dos restos alimentares do outro sem prejudicá-lo;

¹⁰ É um tipo de associação em que indivíduos de uma espécie expelem substâncias que impedem o desenvolvimento de indivíduos de espécies diferentes;

¹¹ É um tipo de relação em que uma espécie, a predadora, captura e mata uma outra espécie, a presa, com a finalidade de se alimentar com a biomassa dela;

¹² Relação desarmônica entre consumidores primários e as plantas (produtores primários), que ocorre quando o consumidor primário se alimenta de plantas;

¹³ É o tipo de relação em que o parasita vive dentro ou sobre o corpo de um hospedeiro, do qual retira sua fonte de energia em um tempo constante;

¹⁴ É um tipo de relação em que uma determinada espécie se aproveita das atividades, do trabalho, ou de produtos produzidos por outros seres vivos.

morfológicas, bem como, de seus hábitos nutricionais, suas exigências ecofisiológicas e suas interações com outros organismos (Vargas e Hungria 1997; Teixeira et al. 2009). Como exemplo, temos os componentes da macrofauna, como os anelídeos, os quilópodes, os diplópodes e alguns crustáceos que atuam rompendo as estruturas dos horizontes minerais e orgânicos do solo ao se alimentar, movimentar e construir galerias no interior ou na superfície do solo sendo, portanto, caracterizados como “engenheiros de ecossistema” (Anderson 1988).

Outros grupos, atuam como agentes ligantes físicos e produzem agentes colantes (ação física), agregantes ou cimentantes, como polissacarídeos de alta viscosidade e substâncias húmicas, que se acumulam como resultado da ação dos organismos heterotróficos sobre a matéria orgânica do solo (Hopkin e Read 1992). Em geral, a ação de alguns constituintes do componente biótico do solo decresce na seguinte ordem: macrofauna > mesofauna > fungos > actinomicetos > bactérias produtoras de polissacarídeos extracelulares > leveduras > maioria das bactérias (Moreira e Siqueira 2006). Na tabela 1.2 apresentamos brevemente o papel de alguns representantes do componente biótico do solo nos processos de ciclagem de nutrientes e de estruturação do solo.

Tabela 1.2 Influência dos organismos do solo na ciclagem de nutrientes e estrutura do solo.

COMPONENTES BIÓTICO DO SOLO	CICLAGEM DE NUTRIENTES	ESTRUTURA DO SOLO
Macrofauna	Fragmentação de resíduos vegetais; Estimulo à atividade microbiana.	Participam ativamente na mistura de partículas minerais e orgânicas; Redistribuem a matéria orgânica e atuam no processo de humificação; Influenciam na diversidade de microrganismos; Envolvidos no processo de bioturbação.
Mesofauna	Regulam as populações de fungos e de outros constituintes da microfauna.	Participam no processo de bioturbação; Atuam no processo de humificação.
Microfauna	Regulam as populações de bactérias e fungos; Alteram o <i>turnover</i> de nutrientes.	Podem afetar a agregação do solo por meio das interações com a microflora.
Microflora	Catabolizam a matéria orgânica; Mineralizam e imobilizam nutrientes.	Produzem compostos orgânicos (mucigel) capaz de ligar agregados.

Fonte: Adaptado de Hendrix et al. (1990).

Como observado na tabela 1.2, existe uma grande diversidade de organismos no solo, desde organismos diminutos (microfauna) a animais invertebrados que podem ser vistos a olho nu (macroartrópodes), apresentando uma grande variedade de metabolismos, tamanhos e funções (Manhaes e Francelino 2013). Alguns organismos e suas principais características estão descritos na tabela 1.3.

Tabela 1.3 Organismos do solo e suas principais características

ORGANISMOS DO SOLO	CARACTERÍSTICAS
Raízes de plantas	Tem grande influência no desenvolvimento dos microrganismos; são a principal fonte de carbono (energia) para os organismos do solo; pode haver 1000 vezes mais microrganismos próximos as raízes.
Bactérias	São numerosas e descritas de acordo com seu formato, tamanho e reações químicas, são unicelulares. Junto com os fungos é o mais importante grupo na decomposição da matéria orgânica do solo; compostos extracelulares auxiliam na agregação do solo; grupo especializado em promover a ciclagem do nitrogênio.
Fungos	Grupo mais importante na decomposição de compostos resistentes como a lignina; o crescimento das hifas ajuda na agregação das partículas do solo; associações simbióticas com raízes de plantas auxiliam a absorção de água e nutrientes, diminuindo a incidência de doenças.
Actinomicetos	São constituídos de célula única e parecidos com bactérias, produzem esporos e muitos produzem antibióticos; Função similar a das bactérias e fungos.
Nematoides	São conhecidos por danificarem as raízes, mas poucos parasitam as plantas, a maioria deles são importantes reguladores de nutrientes; ajudam a acelerar a decomposição ao consumir bactérias, fungos e resíduos vegetais.
Protozoários	São microrganismos mais abundantes na fauna do solo, podendo ser ativos ou dormentes; ajudam a acelerar a decomposição ao consumir bactérias, fungos e resíduos vegetais.
Artrópodes	São invertebrados, se encontram em grande número, principalmente nos horizontes A e B do solo. Sob florestas tropicais produzem uma perturbação faunística; ajudam a acelerar a decomposição ao consumir bactérias, fungos e resíduos vegetais (cupins, colêmbolos, formigas).
Minhocas	Escavam e removem o solo criando macroporos que aumentam a infiltração de água e ajudam na aeração do solo; a passagem do solo pelo seu trato intestinal aumenta a agregação e ciclagem de nutrientes.

Fonte: Adaptado de Moreira e Siqueira, (2006); (Manhaes e Francelino 2013).

Do ponto de vista ecológico, os domínios funcionais como:

- (1) *Rizosfera*: corresponde ao volume de solo influenciado pelas raízes das plantas;
- (2) *Termitosfera*: corresponde ao ambiente influenciado por organismos da Ordem Isoptera (i.e., cupins);
- (3) *Drilosfera*: corresponde ao ambiente influenciado por organismos do Filo Anellidae (i.e., minhocas).

Esses domínios são formados por ações de agentes reguladores, como as plantas, a fauna edáfica, condições edafoclimáticas, condições ambientais, etc. Neles os macro e microrganismos atuam em inúmeros processos biológicos (figura 1.5), que podem ser particulares ou não a cada domínio, e pela estruturação do solo (agregados, macro e microporos) (Lavelle 2000).

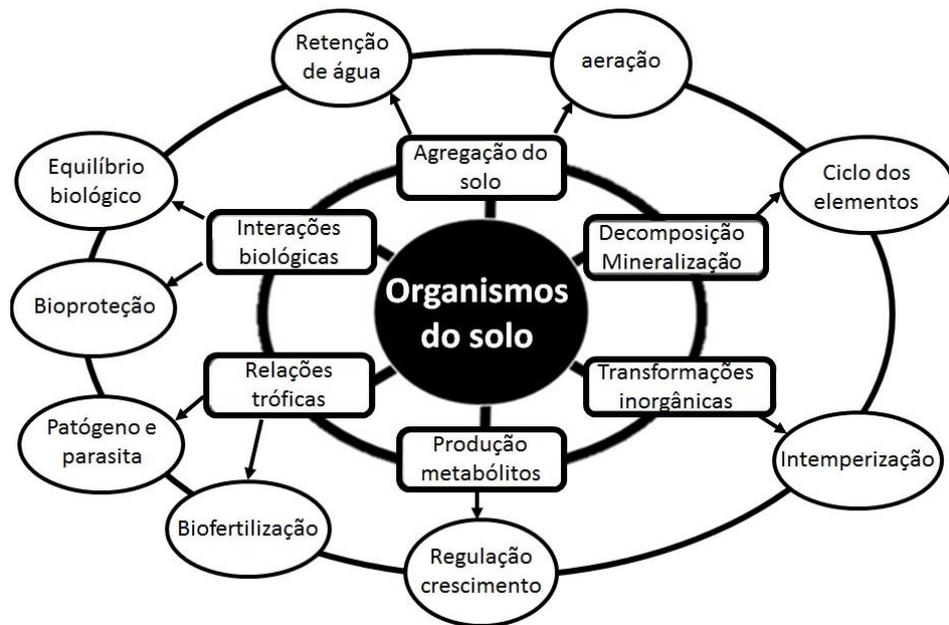


Figura 1.5 Principais processos e funções dos organismos do solo do solo no ecossistema. Adaptado de Siqueira e Trannin (2003).

1.5 Formação dos solos

O solo é formado a partir do intemperismo¹⁵ da rocha-matriz (Birkeland 1999). Essas rochas podem ser classificadas como ígneas¹⁶, sedimentares¹⁷ e metamórficas¹⁸, que em condições normais podem ter sua composição alterada tanto por decomposição química (ex. através da ação de agentes geológicos e biológicos) como por desintegração física (ex. através da ação da variação de temperatura e abrasão por água e vento) (Buol et al. 2005). Estes dois tipos de intemperismo ocorrem simultaneamente seguindo vias de intemperismo pré-definidas (Fig. 1.6), e geralmente um tende a potencializar os efeitos do outro. A desintegração física é responsável pela redução no tamanho das partículas das rochas. Já a decomposição química é potencializada pela presença de água, oxigênio e produtos metabolizados pelos organismos do solo (Ver Tabela 1.1). A interação entre estes dois tipos de intemperismo é responsável pela:

- (i) Transformação da rocha-matriz em minerais primários¹⁹;
- (ii) Transformação de minerais primários em minerais secundários²⁰;
- (iii) Liberação de nutrientes às plantas; sendo também frequentemente denominado de intemperismo biogeoquímico.

¹⁵ Processo que consiste na alteração física e química das rochas e de seus minerais;

¹⁶ Rochas (ex. granito e basalto) formadas a partir do magma fundido;

¹⁷ Rochas (ex. arenito) formadas a partir do produto do intemperismo de outras rochas que se depositam como sedimento;

¹⁸ Rochas (ex. ardósia, gnaiss e mármore) formadas a partir do *metamorfismo* de outras rochas;

¹⁹ Os minerais primários são herdados do material originário; mantêm-se praticamente inalterado na sua composição. Como exemplos de minerais primários que se podem encontrar nos solos, referem-se: quartzo, feldspatos, micas, piroxenas, anfíbolos, olivinas, etc.;

²⁰ Resultam de alterações da estrutura de certos minerais primários. Os minerais secundários mais frequentes no solo são: minerais de argila (silicatos de alumínio no estado cristalino), silicatos não cristalinos; óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro; carbonatos de cálcio e de magnésio;

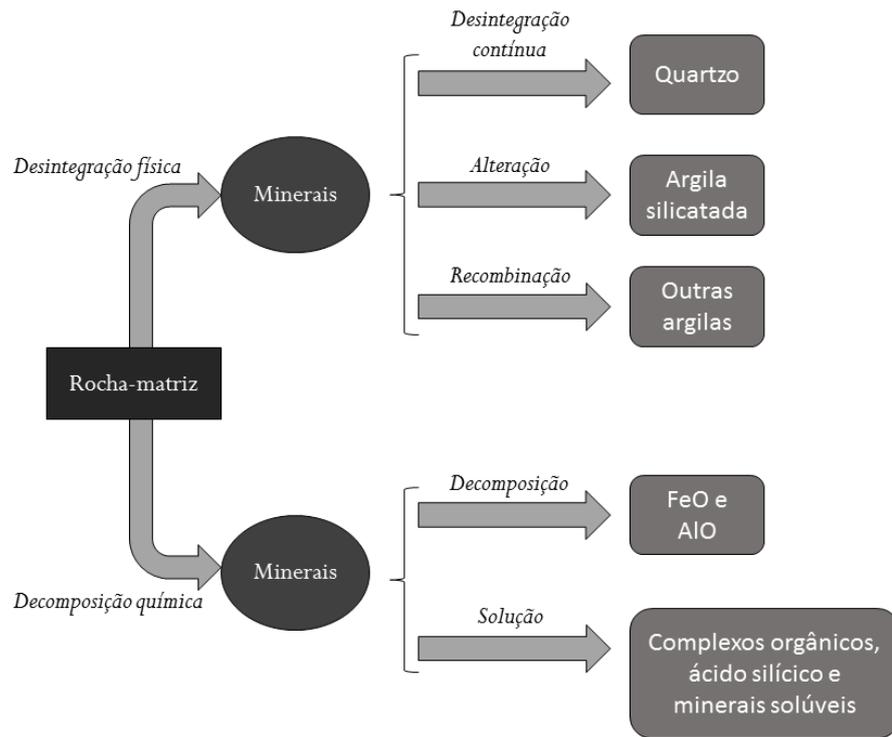


Fig. 1.6 Vias de intemperismo em condições normais (Adaptado de Brady e Weil 2013)

Sendo assim, a interação dos processos de desintegração física e decomposição química aceleram o processo de formação dos solos. No entanto, existem alguns fatores relacionados ao processo de formação de solo. E quais seriam esses fatores? De acordo com Brady e Weil (2013) existem cinco fatores de formação de solos (i.e., material de origem, clima, relevo, organismos vivos e tempo). Estes fatores interagem entre si para formar o solo, por esse motivo devemos estudá-los para compreender a dinâmica do ecossistema solo. Abaixo segue uma descrição mais detalhada de cada fator de formação dos solos de acordo com definições relacionadas por Silva et al. (2009).

- (1) **Material de origem:** Os solos podem ser originados a partir de diferentes tipos de rochas (i.e., ígneas, metamórficas ou magmáticas) que são encontradas sobre a crosta terrestre. A natureza de cada rocha específica influencia as características dos solos (i.e., textura, translocação de partículas e nutrientes no perfil) (Silva et al. 2009).
- (2) **Clima:** O clima é o fator que exerce maior influência dentre os demais fatores sobre o processo de formação dos solos. Variações nas condições climáticas (i.e., precipitação efetiva e a temperatura) podem determinar diferenças significativas na natureza e na intensidade dos processos de desintegração física e decomposição química (Vezzani e Mielniczuk 2011).
- (3) **Relevo:** O relevo por sua vez pode acelerar ou retardar os efeitos do clima sobre o processo de formação dos solos através de variações na altitude e na configuração do terreno (i.e., topossequência) (Doran e Parkin 1994)
- (4) **Organismos vivos:** O componente biótico apresenta grande influência sobre os processos bioquímicos (i.e., decomposição química, degradação da matéria orgânica, formação de húmus, ciclagem de nutrientes, agregação das partículas e atividade biológica) durante a formação dos solos (Doran 1997).
- (5) **Tempo:** O tempo é um dos fatores de formação do solo que demora mais para apresentar seus efeitos sobre a formação dos solos. Através desse fator de formação nós podemos observar qual o grau de desenvolvimento de um solo (i.e., imaturo ou pouco intemperizado e maduro ou muito intemperizado).

Durante a formação de um solo e o desenvolvimento de seus horizontes característicos o material de origem passa por várias mudanças. Essas mudanças são causadas por quatro processos básicos de formação do solo²¹ (Vezzani et al. 2009) que são descritos mais detalhadamente a seguir.

- a) **Adição:** Corresponde ao processo de entrada de materiais (orgânicos ou minerais) no perfil do solo desenvolvido (Carter 2001);
- b) **Remoção:** Corresponde a perda e remoção de material do perfil do solo através da ação da erosão, lixiviação, etc. (Larson e Pierce 1994);
- c) **Transformação:** Ocorre quando materiais precursores são destruídos/modificados física e quimicamente para dar origem a novos materiais (Karlen et al. 1997);
- d) **Translocação:** Corresponde ao movimento de material no perfil do solo (Doran 1997).

Portanto, fica fácil compreender que o resultado da influência dos cinco fatores de formação do solo associados aos quatro processos citados acima origina uma elevada diversidade de solos com distintas camadas, também denominadas de horizontes²², e que estas distintas camadas agrupadas em sequências específicas formem o perfil do solo (Karlen et al. 1997).

1.6 Classificação dos solos

A classificação de solos é utilizada na definição dos níveis hierárquicos de grandes grupos de solos, agrupando-os e classificando-os em diferentes e distintas classes (Laforet et al. 2013). No mundo, o sistema de classificação de solos mais amplamente utilizado é o “Soil Taxonomy” (USDA 2017). Este sistema agrupa os diferentes solos em seis níveis hierárquicos, sendo elas: Ordem, Subordem, Grande Grupo, Subgrupos, Família e Série. Neste tópico será dada ênfase apenas ao nível de Ordem. O sistema da “Soil Taxonomy” agrupa os diversos tipos de solo em doze categorias distintas que são diferenciadas pela ausência/presença de horizontes diagnósticos (i.e., epipedon mólico) e características morfológicas específicas (i.e., espessura e cor) (Troeh e Thompson 2007).

Diversos tipos de ecossistemas diferem entre si pelos seus componentes bióticos e abióticos relacionando-se com as características e especificidade de cada ordem do solo, demonstrada na Tabela 1.4. Os solos com predominância de relevo acentuado, elevada fertilidade e elevada diversidade da vegetação apresentam vantagens benéficas para formação de florestas, prática de silvicultura e sistema agrosilvopastoris, caracterizados pelo elevado aporte de matéria orgânica e elevada diversidade da macrofauna, mesofauna e microfauna assim como observado em solos da Ordem *Andisols*. Por outro lado, solos com predominância de relevo plano ou suave ondulado, apresentam vantagens benéficas para agroecossistemas e sistemas agrícolas (orgânicos e/ou convencionais). Porém, nestas condições é frequente observar menor acúmulo e aporte de material orgânico no solo devido às práticas de manejo do solo (i.e., revolvimento do solo, mecanização, e cultivos sucessivos) que aceleram o processo de decomposição da matéria orgânica, assim como observado em algumas classes de solo descritas na tabela 1.4. Além do relevo, da cobertura vegetal e da fertilidade do solo, devemos considerar alguns fatores climáticos dentro dos componentes abióticos (i.e., precipitação, temperatura, radiação, umidade relativa do ar). Estes possuem influência direta sobre o ecossistema solo, uma vez que pode tornar um “solo ideal” desfavorável para o desenvolvimento de um determinado serviço ao ecossistema (ex. ciclagem de nutrientes), bem como tornar um “solo impróprio” favorável para algum serviço (i.e., desenvolvimento vegetal e decomposição da matéria orgânica).

²¹ Comumente chamados de processos pedogenéticos;

²² Os horizontes principais são divididos em 6 categorias – Horizonte O (i.e., serrapilheira), Horizonte A (i.e., horizontes minerais superficiais), Horizonte E (i.e., horizontes de eluviação localizados abaixo do Horizonte A), Horizonte B (i.e., camadas de máximo acúmulo de óxidos e argilas silicatada), Horizonte C (i.e., material inconsolidado) e Camada R (i.e., rocha mãe);

Tabela 1.4 Nomes das ordens de solos segundo o Soil Taxonomy, com suas principais características, vantagens e desvantagens para o ecossistema.

Ordens	Principais características	Vantagens	Desvantagens	Autor (ano)
<i>Alfisols</i>	Solos com saturação média a alta, moderadamente lixiviados, com acúmulo de argilas silicatadas e CTC ²³ > 35%.	Uma vez corrigidas as deficiências de fertilidade são solos aptos para o cultivo agrícola; recomendado para a manutenção de florestas e sistemas silviculturais.	São solos de baixa fertilidade natural, baixa taxa de decomposição da matéria orgânica (M.O.), mal drenados e requerem práticas como calagem e adubação (NPK).	Bockheim e Hartemink (2017)
<i>Andisols</i>	Solos formados a partir de cinzas vulcânicas. São compostos por minerais silicatados amorfos ²⁴ ou mal cristalizados, com presença de complexos Al-húmicos e elevados teores de M.O. e minerais de Fe e Al.	Solos friáveis, macios e facilmente cultiváveis que apresentam elevada capacidade de retenção de água, elevada resistência a erosão hídrica, alta fertilidade natural e alta atividade da fauna do solo.	Localizados em relevo montanhosos, próximos a vulcões. Apresentam baixa capacidade de aquecimento e baixos teores de fósforo disponível para as plantas.	Velásquez et al. (2017)
<i>Aridisols</i>	Solos característicos de regiões áridas.	Apresentam boa fertilidade natural e são altamente recomendados para o cultivo de pastagens.	Apresentam baixo teor de M.O. a, acelerada decomposição de matéria orgânica. São altamente dependentes da irrigação para o cultivo agrícola.	Azeez (2016)
<i>Entisols</i>	Solos jovens, pouco desenvolvidos, sem o Horizonte B pedogenético e com pouca diferenciação de horizontes.	Manejo varia conforme o local.	Pequeno acúmulo de M.O. e fertilidade natural baixa.	Ucker et al. (2016)
<i>Gelisols</i>	Solos jovens e poucos desenvolvidos com presença de <i>Permafrost</i> .	Alto teor de M.O.	Capacidade de suporte do solo reduzida e baixa atividade microbiana.	Kolka et al. (2015)
<i>Histosols</i>	Apresentam uma ou mais camadas de material orgânico.	Alto teor de matéria orgânica. São solos leves quando secos de alta capacidade retenção de água e elevada CTC.	Solos mal drenados, com baixa taxa decomposição da matéria orgânica.	Kolka et al. (2015)
<i>Inceptisols</i>	Solos jovens, com horizonte B incipiente, em estágio inicial de desenvolvimento.	Solos com potencial para a agricultura.	Solos ácidos, comuns em montanhas e que apresentam restrição à penetração das raízes.	Campos et al. (2016)

²³ Capacidade de troca catiônica;

²⁴ São exemplos de minerais amorfos as alofanas, imogolitas e ferrihidritas;

Mollisols	Solos escuros com acúmulo de matéria orgânica rica em cálcio e predomínio de argila expansiva.	Solos de saturação média a alta e produtivos para grãos e outras culturas.	Durante o período seco são solos que apresentam a taxa de decomposição da matéria orgânica paralisada.	Cabello et al. (2016)
Oxisols	Solos velhos, profundos, com predomínio de hidróxidos de ferro e alumínio e elevado teor de argila de baixa atividade do tipo não expansível.	Solos profundos e de fácil manejo com agregação estável, tornando-os muito resistente a erosão.	São solos de baixa fertilidade, devido às argilas de baixa atividade e alta adsorção de fósforo pelos óxidos de ferro e alumínio.	Souza et al. (2017)
Spodosols	Solos ácidos, lixiviados, arenosos e com acúmulo de matéria orgânica iluviada e/ou de óxidos de alumínio.	Pode ser cultivado quando manejado corretamente (pastagens e plantações).	São solos com baixa fertilidade, alta acidez e que apresentam baixo aporte de material orgânico	Bockheim e Hartemink (2017)
Ultisols	Solos velhos com presença de argilas silicatadas.	Aptidão para agricultura quando bem manejados.	Solos com baixa fertilidade natural.	Baquy et al. (2017)
Vertisols	Solos que apresentam argilas escuras expansivas (>30%).	Boas características físicas e químicas do solo quando úmido e com elevados teores de matéria orgânica.	Dificuldade na realização do manejo e dificuldade para o crescimento do sistema radicular das plantas.	Kushwa et al. (2017)

Dessa forma, podemos concluir baseados nas informações descritas na tabela 1.4 que cada Ordem de solo se constitui de um ecossistema distinto e que estas são diretamente influenciadas pelo relevo, material de origem, tempo, organismos (i.e., plantas e microrganismos) e clima (i.e., temperatura e umidade). E que o grau de desenvolvimento dos solos depende das condições que influenciam a sua formação. Na figura 1.7 fazemos uma breve descrição na forma de escala evolutiva de como ocorre o processo de evolução dos solos, para melhor compreensão da relação entre o grau de desenvolvimento das Ordens de solo descritas neste livro, as suas propriedades e o sistema proposto pela “Soil Taxonomy”.

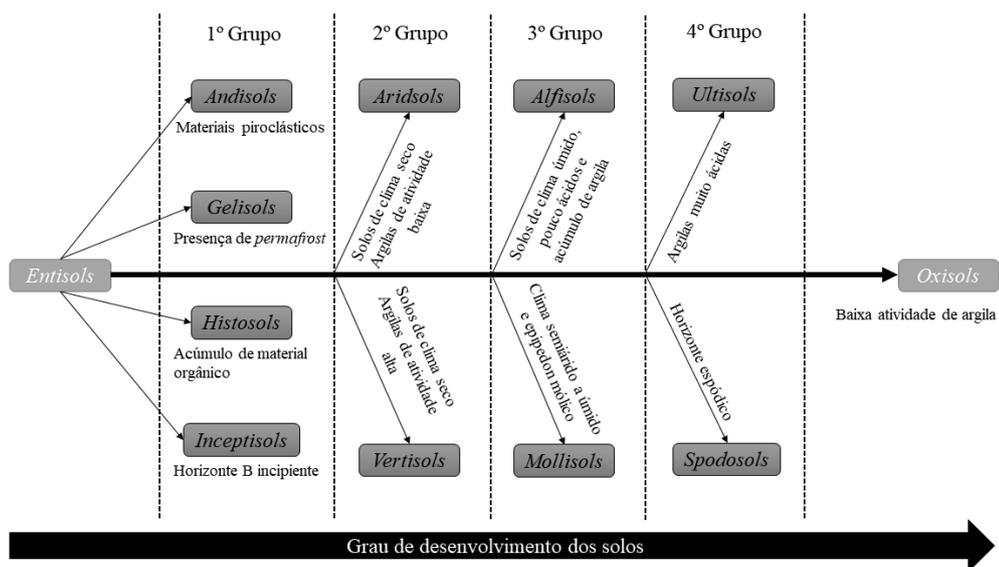


Figura 1.7 Escala evolutiva do processo de formação das diferentes Ordens de solo (USDA 2017)

No Brasil nota-se um predomínio das Ordens dos *Oxisols* e *Ultisols* (Figura 1.8). Em definição os *Oxisols* apresentam relevo suave, alta permeabilidade, profundidade alta e capacidade de troca catiônica baixa, com altos teores de óxidos de alumínio, óxidos de ferro e caulinita (Brady e Weil 2013).

Os *Ultisols* por sua vez são solos profundos e menos intemperizados que os *Oxisols* chegando a apresentar maior fertilidade natural (Troeh e Thompson 2007). No entanto há existência de outros tipos de solos, porém em pequenas proporções (i.e., *Andisols* e *Alfisols*). Essa diversidade de solos juntamente com os componentes bióticos e abióticos proporcionam diversos tipos de substratos, assim modificando o crescimento e desenvolvimento vegetal assim como será descrito no tópico a seguir.

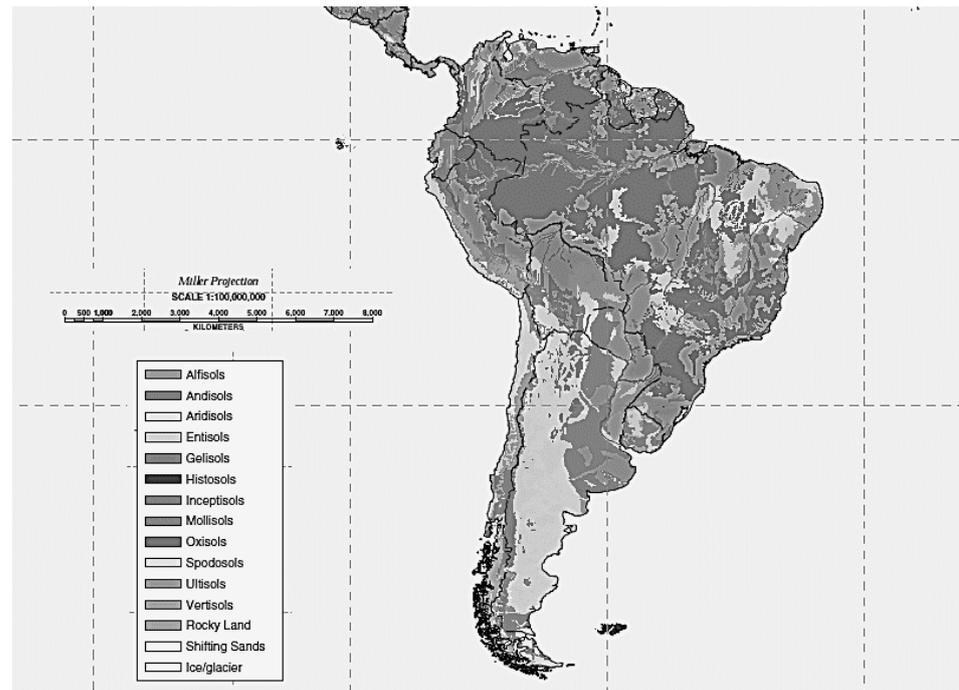


Figura 1.8 Mapa do Brasil com as respectivas ordens de solos segundo o Soil Taxonomy.
Fonte: Soil Survey Staff (1999)

1.7 Atributos de qualidade física do solo

O ecossistema solo é considerado fisicamente ideal para o crescimento e desenvolvimento das plantas quando apresenta ótimas propriedades físicas (i.e., cor, textura, estrutura, estabilidade de agregados, densidade, porosidade, retenção e infiltração de água e baixa resistência ao crescimento radicular) (Gerra 2000). Estas propriedades influenciam o modo que o ecossistema solo funciona, bem como determinam a escolha de determinadas práticas de manejo a serem adotadas para se obter bons índices de qualidade do solo e sustentabilidade ambiental. Neste tópico, vamos dar ênfase as propriedades físicas que estão relacionadas a fração mineral do solo e suas funções e serviços no ecossistema, tais como: porosidade, densidade, textura e estabilidade dos agregados.

1.7.1 Porosidade do solo

Esta propriedade física representa o volume do espaço poroso do solo que é ocupado pelas frações líquida (i.e., solução do solo) e gasosa (i.e., CO₂, N₂ e O₂). Sendo que a quantidade e a natureza do espaço poroso são função da composição granulométrica e da estrutura do solo. Segundo Amaro Filho et al. (2008) a porosidade do solo é um índice importante para o conhecimento das condições de qualidade edáfica, na sustentabilidade da produção agrícola e no desenvolvimento do sistema radicular das plantas em condições de agroecossistemas ou ecossistemas naturais. Pois, conforme há variações de (i) tamanho das partículas, (ii) forma das partículas, e (iii) expansividade das frações granulométricas, os poros se diferenciam consideravelmente em macro- e microporos e o balanço entre ambos pode influenciar consideravelmente a porosidade total do solo (Lepsch 2011).

De acordo com Kiehl (1979) a classificação dos poros presentes no ecossistema solo pode ser dividida em duas categorias principais baseadas no tamanho médio dos poros e na função que os mesmos exercem no solo, sendo elas:

- a) Microporos: Correspondente a poros com diâmetro inferior a 0,08 mm e que são responsáveis em reter e armazenar água contra o potencial gravitacional;
- b) Macroporos: Correspondente a poros com diâmetro superior a 0,08 mm e que são responsáveis pela difusão, infiltração, drenagem, aeração e trocas gasosas no solo.

Para ilustrar melhor as diferenças entre macro- e microporos tratando de suas vantagens e desvantagens vamos tratar de dois tipos distintos de solo, sendo um solo argiloso e um arenoso. No solo argiloso é comum ocorrer o predomínio de microporos, apresentando como principal vantagem a maior capacidade de retenção de água e como desvantagem os problemas de aeração. Em solos arenosos a predomínio de macroporos, com a principais vantagens a maior taxa de difusão de gases e as maiores taxas de infiltração e aeração, e como desvantagem podendo apresentar problemas relacionados a lixiviação de nutrientes e a baixa capacidade de retenção de água (Primavesi 2002). No Brasil, para quantificar a porosidade total do solo, usualmente é empregada a metodologia descrita pelo Manual de Análise dos Solos elaborado pela Embrapa (Embrapa 1997) que tem como princípio a determinação do volume dos poros totais do solo ocupado por ar e/ou água, utilizando os cálculos descritos nas equações abaixo:

$$\text{Porosidade total (\%)} = \frac{100 (a - b)}{a}$$

Onde: a = densidade real do solo (g cm⁻³) e b = densidade aparente do solo (g cm⁻³);

$$\text{Porosidade total (\%)} = (\text{Microporos} + \text{Macroporos})$$

Onde: *Microporos* = volume total de microporos e *Macroporos* = volume total de macroporos;

1.7.2 Densidade do solo

A densidade do solo é um atributo físico extremamente relacionado com a porosidade do solo e que reflete o arranjo de partículas do solo, compreendendo os espaços dentro e entre os agregados e que é muito útil para ressaltar variações influenciadas por práticas de manejo sobre o ecossistema solo em função do tempo. Portanto, este atributo físico é um importante indicativo na qualidade do manejo, na condição do ecossistema, no impacto do uso da terra nas alterações do solo e na qualidade do espaço poroso (Alves et al. 2016). Podendo auxiliar na tomada de decisão para fins:

- a) Agrícolas;
- b) Na conservação do solo e água;
- c) No crescimento e desenvolvimento das raízes das plantas voltada para a produção vegetal.

De acordo com van Lier (2010) a densidade do solo²⁵ (ρ) é uma propriedade física do solo que pode ser determinada seguindo a seguinte equação:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Onde: m = é a a massa de solo seco (kg) e V = o volume total do solo (m^3).

Existem vários métodos de determinação para ρ , sendo eles não-destrutivos e destrutivos. Os métodos não-destrutivos são aqueles determinados em condições de campo, sem necessidades de coleta de amostras. Dentre eles destacam-se a moderação de neutros, a absorção de raios gama e raios-X e o penetrômetro. Já os métodos destrutivos são determinados em laboratórios, sendo dependente de uma amostra representativa do solo ou camada do solo. Dentre esses métodos, temos:

- a. *Método do cilindro volumétrico*: Coleta-se amostras de solo no campo com anéis de aço de volume interno de 50 cm^3 e peso conhecido. Em seguida, no laboratório deve-se pesar o conjunto (anel mais solo) e anotar o peso. Coloca-se o conjunto em estufa à 107°C durante 48 h para secagem. Após esse período deve-se retirar as amostras da estufa e pesar. Ao final a densidade aparente do solo pode ser determinada utilizando a seguinte equação:

$$\text{Densidade aparente (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Peso amostra solo seco}}{\text{Volume do cilindro de aço}}$$

- b. *Método do torrão parafinado*: Coleta-se um torrão (diâmetro de 4 a 7 cm) representativo da área escolhida. Este torrão deve ser identificado, seco ao ar e a sombra, impermeabilizado em parafina fundida e colocado em latas de alumínio de peso conhecido. Pesa-se o torrão impermeabilizado e seco. Em seguida, mergulha-se o torrão impermeabilizado em um Becker com água para umedece-lo. Após umedecer o torrão, deve-se pesar o torrão úmido e depois parti-lo cuidadosamente com uma faca e levar o mesmo para estufa para determinar a umidade do torrão. De posse do peso do torrão seco e úmido e umidade do torrão deve-se calcular a densidade aparente do solo usando a seguinte equação:

$$\text{Dens. apar. (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{Peso torrão imp. e úmido} / [1 + (\frac{\text{Umidade}}{100})]}{[(\text{Peso torrão imp. e úmido} - \text{Peso torrão imp.}) - 0,9]}$$

1.7.3 Textura do solo

A textura do solo é uma propriedade física que pode afetar a qualidade do solo e o comportamento vegetal (i.e., retenção de água, infiltração de água, crescimento e penetração radicular). Basicamente ela é definida pelo tamanho das partículas (i.e., argila, silte, areia e cascalho) que compõe o solo e que definem a granulometria do solo (Amaro Filho et al. 2008). O tamanho das partículas é definido pelo diâmetro médio da partícula (DMP) e pode ser subdividido nas seguintes ordens: argila ($\text{DMP} < 0,002$); silte ($0,002 < \text{DMP} < 0,05$); areia muito fina ($0,05 < \text{DMP} < 0,1$); areia fina ($0,1 < \text{DMP} < 0,25$); areia média ($0,25 < \text{DMP} < 0,5$); areia grossa ($0,5 < \text{DMP} < 1,0$);

²⁵ Também pode ser classificada como densidade global ou densidade aparente;

areia muito grossa ($1,0 < DMP < 2,0$); e cascalho ($DMP > 2,0$). As interações entre essas ordens de partículas definem a classe textural do solo assim como descrito na figura 1.9.

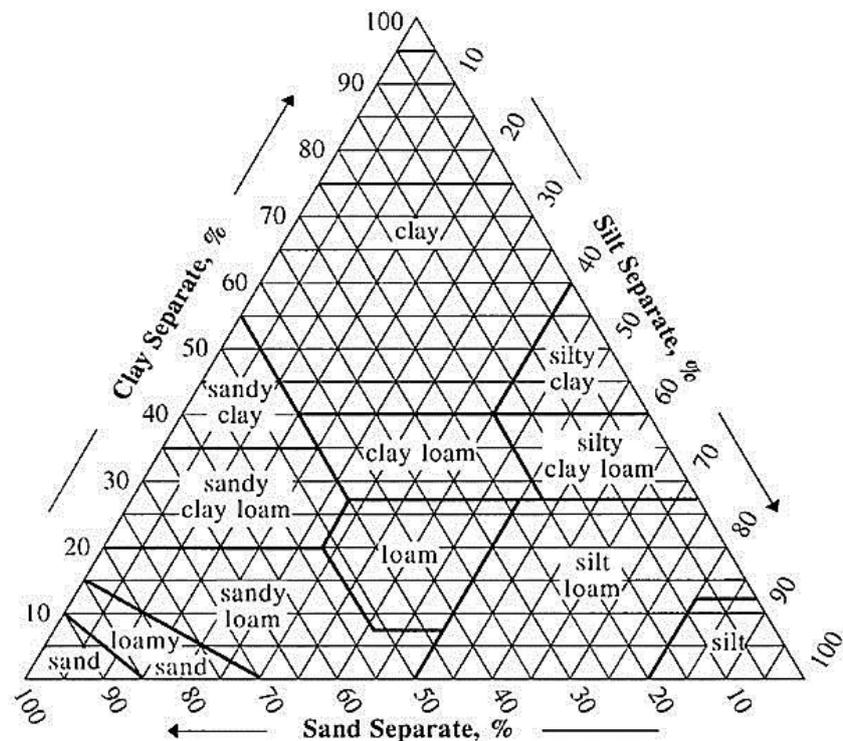


Figura 1.9 Classes texturais do solo (Fonte: Adaptado de Novais 2007)

A avaliação dessa propriedade pode ser feita diretamente no campo ou em análise laboratorial. A determinação realizada no campo é baseada na sensação do tato ao manusear a amostra úmida, porém a precisão e eficiência desse método dependerá da experiência e habilidade do observador. Portanto, a análise feita diretamente em campo torna-se uma atividade muito subjetiva. Já o uso da análise laboratorial além de ser um método mais preciso para determinação da textura do solo, ela pode servir para confirmar a precisão da determinação textural realizada no campo. O princípio envolvido é simples, onde se utiliza a dispersão completa (solução e agitação) da amostra de solo coletada no campo para desagregação das partículas, e na velocidade de sedimentação das partículas. Geralmente é utilizada o método da sedimentação (Hidrômetro ou Pipeta) baseado na lei de Stokes (Campos et al. 2016).

1.7.4 Estabilidade dos agregados

A formação dos agregados ocorre quando duas ou mais partículas são unidas e essa agregação é superior que a força de união entre partículas adjacentes. A estruturação dos agregados tem sua estrutura influenciada prioritariamente pela atividade biológica, e o material coloidal pela estabilidade. De acordo com van Lier (2010) e Brady e Weil (2013) os agregados são formados por dois processos distintos:

- a. *Floculação*: Processo que define o grau de aproximação entre as partículas primárias do solo;

- b. *Cimentação*: Processo que define a capacidade de partículas resultantes da floculação não dispersar em água. Para que ocorra essa cimentação existem vários agentes responsáveis por esse processo, a exemplo da argila, matéria orgânica, atividade microbiana, vegetação, atividade da fauna e colides de ferro e alumínio.

A estabilidade dos agregados pode ser determinada medindo a quantidade e a distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água, relacionando com os que não se desintegram a agitação, descrito pelo manual de análise dos solos da Embrapa (Embrapa 1997). Abaixo descrevemos o papel das frações granulométricas no ecossistema solo e suas características físicas principais (Tabela 1.5).

Tabela 1.5 Características físicas e funções no ecossistema solo apresentadas pelas frações areia, silte e argila (Adaptado de Brady e Weil 2013)

Fração	Porosidade	Densidade do solo	Estabilidade dos agregados	Funções no ecossistema solo
Areia (2 – 0,05mm)	Alta	Baixa	Baixa	Boa aeração e alta drenagem; Baixa retenção de água; Fácil enraizamento; Resistência à compactação; Baixo teor de material orgânico; Rápida decomposição da matéria orgânica; Maior susceptibilidade a erosão; Predomínio de macroporos;
Silte (0,05 – 0,002mm)	Lenta a média	Baixa a média	Baixa a média	Média a alta retenção de água; Média aeração; Drenagem lenta a média; Médio a alto teor de matéria orgânica; Alta susceptibilidade a erosão; Compactação média; Média a alta agregação; Média decomposição da matéria orgânica;
Argila (< 0,002mm)	Muito lenta	Alta	Alta	Baixa aeração e drenagem; Alta retenção de água; Maior susceptibilidade a compactação; Dificulta o enraizamento; Médio a alto teor de matéria orgânica; Lenta decomposição da matéria orgânica; Predomínio de microporos; Baixa susceptibilidade a erosão; Solo não agregado apresenta baixa susceptibilidade a erosão;

1.8 Atributos de qualidade química do solo

A qualidade química do solo é fundamental para a sustentabilidade agrícola e manutenção dos ecossistemas naturais. O grau de acidez, alcalinidade e os teores de matéria orgânica são importantes variáveis que afetam direta e indiretamente as propriedades químicas (i.e., disponibilidade de fósforo, alumínio e manganês) e biológicas (i.e., diversidade de microrganismos, atividade microbiana e alterações no quociente metabólico) do ecossistema solo.

Além disso, a interação entre o pH do solo e a matéria orgânica determinam a população de plantas e as espécies de microrganismos (i.e., bactérias e fungos micorrízicos) dominantes na paisagem.

O balanço entre íons de hidrogênio (H^+) e de hidroxilas (OH^-), que representa o pH, resulta na acidez ou alcalinidade do ecossistema solo. O pH do solo afeta a disponibilidade e a mobilidade de nutrientes, a decomposição bioquímica, a solubilidade e a adsorção de coloides. Em condições naturais, a produção de íons H^+ , a solubilidade de Al^{3+} e a lixiviação de cátions básicos pela percolação da água são os principais processos que provocam a acidificação, os quais são acentuados pela grande quantidade de água que entra no solo através da precipitação pluvial anual (Brady e Weil 2013).

Por outro lado, em regiões áridas e semiáridas, onde a lixiviação é menos evidenciada em função das baixas taxas de precipitação, ocorre acúmulo de cátions básicos (i.e., Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) e baixa produção de H^+ . Nestas condições é comum encontrarmos solos com problemas de salinidade (i.e., solos com níveis elevados de sais solúveis) e/ou sodicidade (i.e., elevados teores de sódio trocável). Grande parte das limitações no desenvolvimento de sistemas de produção está relacionada aos efeitos da acidez do solo, a qual pode estar associada, de forma geral, com os teores de Al e Mn em concentrações tóxicas e de baixos teores de Ca e Mg (Sousa et al. 2007).

Já a matéria orgânica do solo (MOS) apresenta ação mais ampla nas funções do solo. A MOS é constituída basicamente por C, H, O e nutrientes essenciais para as plantas (i.e., N, P e S). Esta fração sólida do ecossistema solo exerce influência em muitas propriedades físicas (i.e., capacidade de retenção de água), químicas (i.e., capacidade de troca catiônica), biológicas (i.e., atividade biológica) e no desenvolvimento vegetal (i.e., liberação lenta de nutrientes para as plantas). Desta forma, o pH e a matéria orgânica podem ser considerados como indicadores da qualidade do ecossistema solo. Segundo Meurer et al. (2012) os componentes da acidez dos solos são:

- (1) **A acidez ativa:** Que corresponde à concentração e atividade dos íons H^+ na solução do solo e indica a solubilidade de elementos minerais no solo. Considerado um compartimento muito pequeno quando comparado aos demais compartimentos;
- (2) **Acidez trocável:** Corresponde as concentrações de hidrogênio e o alumínio que são facilmente trocáveis por outros cátions na solução do solo;
- (3) **Acidez residual:** Corresponde as concentrações de H^+ e Al^{3+} que estão retidas nas frações da matéria orgânica e das argilas em formas não trocáveis;
- (4) **A acidez potencial:** Corresponde as substâncias ou aos compostos que liberam íons para a solução do solo (i.e., oxidação de compostos sulfurados e solos ácidos sulfatos), causando uma acidificação do meio;
- (5) **Acidez total:** Corresponde a soma da acidez ativa, acidez trocável e acidez residual, com exceção dos solos ácidos sulfatos, onde a acidez potencial deve ser considerada.

1.8.1 Processos que causam acidez e alcalinidade dos solos

Os solos podem ser ácidos ou alcalinos em suas condições naturais, em virtude do material de origem, assim como da intensidade dos agentes de intemperismo (i.e., clima, precipitação e tempo). Em solos cultivados, essa acidez pode ser acentuada pela absorção dos cátions básicos pelas culturas e exportação de nutrientes através da colheita dos grãos (Brady e Weil 2013; Meurer et al. 2012). Vários processos podem estar relacionados com a acidificação e/ou alcalinização do solo, na figura 1.10, ilustramos os principais, como o acúmulo de matéria orgânica e as reações de oxidação e água da chuva.

Processos acidificantes (a)

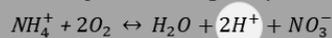
Produção de ácido carbônico;



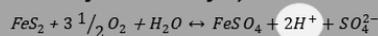
Produção de ácidos orgânicos;

Acúmulo de matéria orgânica;

Oxidação do nitrogênio;



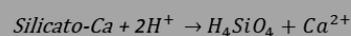
Oxidação do enxofre;



Absorção de cátions pelas plantas.

Processos alcalinizantes (b)

Intemperização de cátions;



Acúmulo de cátions não ácidos;

Produção de ânions formadores de bases;

Dióxidos de carbono e carbonatos;

Excesso de ânions absorvidos pelas raízes.

Figura 1.10 Principais processos acidificantes (a) e alcalinizantes (b) do solo

De forma geral ambos os processos são o resultado do balanço entre íons de hidrogênio. Como processos acidificantes podemos destacar os processos onde ocorrer a produção de íons H^+ (Figura 1.10a), enquanto para os processos alcalinizantes temos o consumo de H^+ ou a produção de OH^- (Figura 1.10b). Dessa forma, de acordo com Brady e Weil (2013) o grau de acidificação de um solo é determinado através do balanço entre aqueles processos que produzem e outros que consomem íons H^+ ou que produzem OH^- .

Dentre os processos que produzem H^+ podemos destacar:

- 1) Formação de ácido carbônico a partir de CO_2 ;
- 2) Dissociação ácida;
- 3) Oxidação de compostos de N, S e Fe;
- 4) Deposição atmosférica de H_2SO_4 e HNO_3 ;
- 5) Cátions absorvidos pelas plantas;
- 6) Acumulação de matéria orgânica ácida;
- 7) Precipitação de cátions;
- 8) Deprotonação de cargas dependentes de pH.

Já, para os processos que consomem H^+ podemos destacar os seguintes:

- 1) Entrada de bicarbonatos e carbonatos;
- 2) Protonação de ânions;
- 3) Redução de compostos de N, S e Fe;
- 4) Deposição atmosférica de Ca e Mg;
- 5) Absorção de ânions pelas plantas;
- 6) Adsorção específica de ânions;
- 7) Mineralização de cátions minerais;
- 8) Protonação de cargas dependentes de pH.

O acúmulo de matéria orgânica e as reações de oxidação tendem a promover a acidificação do solo por formar complexos solúveis com cátions básicos, liberar H^+ , e favorecer a perda de cátions por lixiviação e por conter numerosos grupos funcionais ácidos dos quais os íons H^+ podem se dissociar (Brady e Weil 2013). A acidez e/ou a alcalinidade do solo podem ser avaliadas, geralmente, através de seu pH, onde é determinada a atividade de H^+ em

suspensão de solo com água ou com solução salinas. A produção de íons H^+ aumenta a acidez do solo e seu consumo retarda a acidificação e conduz à alcalinidade.

1.8.2 pH do solo e seus efeitos biológicos

Uma propriedade que está diretamente correlacionada com a acidez, é o pH, considerado importante indicador das condições químicas do solo por possuir capacidade de interferir na disponibilidade de vários elementos químicos essenciais (Brandão e Lima 2002). Sendo o pH da solução do solo um fator ambiental decisivo para o crescimento de todos os organismos que vivem no solo (plantas, animais e micro-organismos).

Geralmente o pH do solo pode influenciar as plantas e os microrganismos através da toxicidade por alumínio e manganês; bem como pode potencializar o desenvolvimento vegetal através da disponibilidade de nutrientes para as plantas. Com o manejo do mesmo, pode-se contribuir no controle de certos patógenos que se originam no solo como também ajudar em alguns processos de decomposição (Brady e Weil 2013). Abaixo listamos os principais efeitos biológicos do pH no solo:

- (1) Em solos ácidos com elevados teores de alumínio ocorre danos as membranas das células do sistema radicular; restrição do crescimento radicular (atrofia radicular); e alterações na formação de compostos fosfatados (i.e., ATP, RNA e DNA) na planta;
- (2) Em condições onde o Mn é encontrado em elevados níveis, acima da necessidade nutricional da planta (200 mg kg^{-1}), pode-se encontrar sintomas relacionados ao enrugamento e enrolamento das folhas;
- (3) Em condições de elevada acidez ocorre redução na disponibilidade de macronutrientes (i.e., Ca, Mg, K, P, S e N), Mo e B, enquanto que para Fe, Mn, Zn, Cu e Co a disponibilidade é aumentada; já em solos alcalinos ocorre o inverso, onde a disponibilidade de Mo e macronutrientes (com exceção do P) é aumentada e os micronutrientes tem seus níveis no solo tão baixos que chegam a afetar negativamente o crescimento vegetal;
- (4) Em pH muito baixo a atividade fúngica tende a ser predominante, enquanto que em faixas de pH intermediária e alta a atividade bacteriana tende a dominar a atividade microbiana;
- (5) Solos ácidos têm influência positiva na formação e na mobilidade de certas moléculas orgânicas iônicas;

1.8.3 Alumínio

O alumínio, junto com o H^+ , apresentam grande papel na acidez do solo. Algumas argilas (i.e., argilas do tipo 1:1), minerais do solo (aluminossilicatos) e óxidos (óxidos de alumínio) tem o Al^{3+} como um dos seus principais constituintes (Brady e Weil 2013; Sousa et al. 2007). Regra geral, podemos considerar que o Al^{3+} pode influenciar a acidez do solo através de duas vias:

- (1) Através da ação tóxica a muito organismos edáficos;
- (2) Através das reações de hidrólise, onde o Al^{3+} se liga as hidroxilas²⁶, promovendo aumento dos teores de H^+ na solução do solo;

²⁶ Cada íon de Al^{3+} pode se ligar com até três íons de H^+ para formar a gibbsita;

1.8.4 Solos em regiões árida e semiáridas

Os solos de regiões áridas e semiáridas geralmente ocorrem em zonas onde a disponibilidade de água é limitada em função de limitações hídricas impostas pelas baixas taxas de precipitação pluvial, pelas altas taxas de evaporação, pelo acúmulo de sais na superfície do solo e pela irregularidade das chuvas. Geralmente, são solos que apresentam elevado pH e elevados teores carbonatos e em comparação com solos de regiões úmidas, podemos considerar que os solos de regiões áridas e semiáridas possuem particularidades e problemas específicos. Abaixo listamos as principais:

- (1) Irregularidade na cobertura vegetal;
- (2) Ocorrência de ilhas de fertilidade²⁷;
- (3) Encrostamento biológico nas camadas superficiais do solo;
- (4) Formação de horizonte cálcico;
- (5) Solos deficientes em fósforo e micronutrientes;
- (6) Formação de camadas petrocálcicas;
- (7) Formação de camadas ricas em sulfato de cálcio;

1.8.5 Solos afetados por sais

Solos afetados por sais são aqueles que apresentam altas concentrações de sais solúveis (i.e., solos salinos), de sódio trocável (i.e., solos sódicos) ou de ambos (i.e., solos salino-sódicos). Estima-se que no Brasil, cerca de quatro milhões de hectares são afetados, principalmente na região Nordeste (Meure et al. 2012), em virtude de suas condições climáticas (i.e., elevadas taxas de evaporação associadas a baixa precipitação pluvial e altas temperaturas), do deslocamento de sais solúveis na água de irrigação (i.e., cloretos, sulfatos de cálcio, magnésio, sódio e potássio) e devido ao intemperismo de minerais que originam sais solúveis (i.e., olivinas, augita, feldspatos, aubita e leucita) (Freire e Freire 2007).

A adição de sais em excesso através da água de irrigação pode prejudicar o crescimento das plantas não só pelos efeitos diretos sobre o potencial osmótico da solução do solo e pelos íons com potencial tóxico presentes em altas concentrações, mas também em virtude da degradação de algumas propriedades físicas, as quais reduzem a infiltração da água, trocas gasosas e crescimento das raízes (Freire e Freire 2007; Meure et al. 2012).

Em geral pode-se medir os problemas causados pelo excesso de sais (salinidade) ou de um íon específico, como o sódio (sódio) através das seguintes avaliações:

- a) Avaliação do pH;
- b) O conteúdo de sólidos totais dissolvidos na solução do solo;
- c) A condutividade elétrica da solução do solo e do extrato de saturação;
- d) A percentagem de saturação por sódio trocável;
- e) A relação de adsorção de sódio.

²⁷ Efeito observado na zona rizosférica das plantas. Nesta região, ocorre um acúmulo significativo de serrapilheira, organismos edáficos e umidade em comparação a zona não-rizosférica;

1.8.6 Matéria Orgânica

A matéria orgânica do solo (MOS) é um componente do ecossistema solo que influencia suas propriedades físicas (i.e., na capacidade de retenção de água e estabilização de agregados), químicas (i.e., na capacidade de troca catiônica e fonte de nutrientes as plantas) e biológicas (i.e., fonte de energia para a fauna edáfica) nas camadas mais superficiais (Naidu et al. 1995). Portanto, para determinar a qualidade é interessante considerar a qualidade e a quantidade de matéria orgânica do solo (Miranda 2005). Por definição, a matéria orgânica é rica no elemento carbono²⁸ que é a base de toda a vida na terra. No solo, portanto, podemos encontrar o carbono na sua forma orgânica como constituinte da MOS e também na sua forma inorgânica na forma de bicarbonatos, carbonatos e CO₂ (Brady e Weil 2013). Dessa forma podemos concluir que o carbono fica estocado no solo em duas formas distintas, mas apenas uma é constituinte da MOS. Outra consideração importante a ser feita sobre o carbono é que segundo Eswaran et al. (2000) este constituinte da MOS não está distribuído igualmente em todos os tipos de solo. Na figura 1.11 descrevemos os estoques de carbono orgânico nas principais ordens de solo no Mundo e no Brasil.

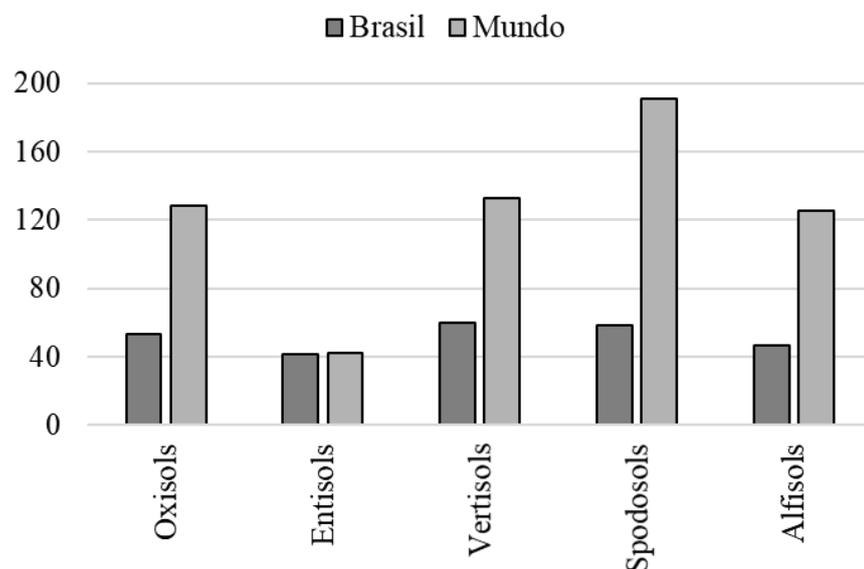


Figura 1.11 Estimativa dos estoques de carbono orgânico (Mg ha⁻¹) das principais ordens de solos no Brasil e no mundo (Adaptado de Eswaran et al. 2000).

Como descrito na figura 1.11, os teores de carbono orgânico variam de solo para solo. Abaixo indicamos alguns fatores e práticas que determinam os ganhos e perdas de carbono orgânico no solo e influenciam diretamente nos níveis de MOS:

- Influência do clima (Temperatura, umidade e precipitação);
- Influência da vegetação natural (produtividade, produção de biomassa radicular, produção de biomassa da parte aérea;
- Influência das propriedades físicas do solo (textura, estrutura e taxa de infiltração de água);

²⁸ O C corresponde a cerca de 50% da massa das substâncias orgânicas do solo;

d) Influência do manejo agrícola (aração, gradagem, subsolagem);

1.9 Atributos de qualidade biológica do solo

O solo é o habitat natural de uma vasta diversidade de seres vivos que são formados por tamanhos e metabolismos diferentes, que participam diretamente na estruturação do solo, e podem ser denominados de biota do solo (Fragoso et al. 1999), ou fauna edáfica (Melo et al. 2009). Podem estar ou não perceptíveis ao olho humano, e como contribuição ao ecossistema desempenham um importante papel na sustentação e biofuncionamento do solo (Manhaes e Francelino 2013). A biota do solo opera em diversos processos de decomposição da matéria orgânica e da ciclagem dos nutrientes (Sanginga et al. 1992; Lavelle et al. 1996), fragmentação da serrapilheira, melhoram a aeração e infiltração da água, permitem o controle biológico e degradam as substâncias tóxicas para o solo (Baretta et al. 2011), mineralização, imobilização e mobilização de nutrientes, humificação dos resíduos orgânicos, fixação de nitrogênio atmosférico, estruturação e agregação de partículas de solo (Devide e Castro 2009). Segundo Moço et al. (2005), as alterações na cobertura vegetal em ecossistemas ou agroecossistemas refletem diretamente na densidade e diversidade da fauna edáfica e isso se deve a esses organismos serem muito sensíveis as intervenções antrópicas. Dessa forma este grupo pode ser usado em diversas pesquisas como indicador de qualidade de solo.

A diversidade e abundância dos organismos estão associadas às características intrínsecas dos ambientes, como por exemplo, as condições edafoclimáticas e a vegetação (Lavelle e Pashanasi 1989), da acidez do solo, da aeração, da energia e grau de perturbação bem como da disponibilidade de nutrientes (Curry e Good 1992; Fisher e Binkley 2000). Logo, a fauna do solo é extremamente sensível às intervenções sofridas no ambiente, seja em alterações de fatores físicos, químicos ou biológicos do solo, e dependendo do tipo de impacto sofrido algumas populações podem sofrer maiores efeitos que outras, podendo aumentar, reduzir ou não sofrer alterações na diversidade de seus grupos (Barreta et al. 2011).

Quanto às modificações causadas no solo, no aspecto físico a compactação altera diretamente os indivíduos que habitam a porção porosa do solo, uma vez que essa redução da quantidade de poros diminui a produção de galerias formadas para movimentação dos organismos no solo, como é o caso das populações de ácaros, minhocas e aranhas (Moço et al. 2005). A subsolagem e a escarificação também interfere nas propriedades físicas do solo, uma vez que essas práticas revolvem a camada superficial do solo e alteram a quantidade e distribuição da matéria orgânica, e com isso causa variações na temperatura e na umidade do solo (Barreta et al. 2011). Quanto aos aspectos químicos do solo, o principal fator que modifica a diversidade de organismos é a utilização de defensivos agrícolas, seja fertilizante químico ou orgânico (Alves et al. 2008; Moço et al. 2005). Segundo Battirola et al. (2007), a monocultura causa redução da diversidade dos organismos para algumas poucas comunidades, devido a diminuição da variedade de fontes alimentares e de abrigo, e como consequência dessa mudança gera desequilíbrio na diversidade edáfica.

1.9.1 Organismos do solo

Os organismos do solo estão diretamente associados aos processos de decomposição dos resíduos e da ciclagem dos nutrientes, e essa ligação é de fundamental importância para o funcionamento e manutenção do

ecossistema. A fauna edáfica é constituída por indivíduos invertebrados que habitam o solo ou que vivem pelo menos um ciclo de sua vida no solo (Manhaes e Francelino 2013; 2012).

São conhecidas várias classificações para os organismos do solo, que apresentam algumas diferenças entre si, a mais utilizada pelos estudiosos é a proposta por Swift et al. (1979), que separa os grupos de acordo com sua mobilidade, hábito alimentar e principalmente pelo tamanho de seu corpo, sendo divididos em macrofauna (>2,0 mm), mesofauna (0,2-2,0 mm) e microfauna (<0,02 mm) e da sua função no solo, sendo divididos em saprófagos, predadores, micrófagos, fitófagos e insetos sociais (Manhaes e Francelino 2013; 2012).

Quanto aos hábitos alimentares a fauna edáfica pode ser classificada de acordo com Barreta et al. (2011) como:

1. Saprófagos: estão relacionados com a matéria orgânica morta podendo ainda ser classificados em:
 - (a) Detritívoros; que se alimentam dos resíduos vegetais em diferentes estádios de decomposição (alguns artrópodes);
 - (b) Cadaverícolas; se alimentam de animais mortos (larvas de insetos);
 - (c) Coprófagos; se alimentam de excrementos de outros animais (pequenos artrópodes, coleópteros, minhocas);
2. Biófagos: se alimentam de tecidos vivos, também podem ser divididos em:
 - (a) Microbióvoros; alimentam-se de organismos da mesofauna e microfauna (ácaros, nematóides);
 - (b) Funfívoros; se alimentam de fungos (alguns colêmbolos);
 - (c) Fitófagos; alimentam-se de vegetais (alguns insetos, nematóides);
 - (d) Predadores; se alimentam unicamente de animais vivos matando rapidamente sua presa (alguns coleópteros, ácaros);
 - (e) Parasitas; também se alimentam de animais vivos, matando-os lentamente.

1.9.2 Macrofauna

A macrofauna é composta por organismos que apresentam diâmetro do corpo superior a 2 mm, em meio a esses fazem parte as formigas, minhocas, centopeias, aranhas, coleópteros, térmitas e diplópodes (Aquino et al. 2008). Dentre os organismos do solo, a macrofauna tem grande importância na formação de solos (Righi 1997), melhoramento das propriedades químicas como fertilidade, formação de húmus, transporte de nutrientes e microrganismos por meio dos canais de locomoção, na decomposição de resíduos de plantas e na ciclagem de nutrientes, nas propriedades físicas atuam na formação de agregados do solo, estrutura, porosidade, capacidade de infiltração, drenagem e retenção de água e ar, bem como também participam das propriedades biológicas através do controle de patógenos e degradação de poluentes (Ingham 2006; Frago et al. 1999).

1.9.3 Mesofauna

A mesofauna inclui organismos com diâmetro médio do corpo variando entre 0,2 a 2 mm. Este grupo é composto por: Ácaros, Aracnídeos, Colêmbolos, Diplura, Isoptera, Oligoquetos, Palpigradi, Pauropoda, Protura, Pseuescorpíões e Symphyla (Morais et al. 2013). Como hábito de vida, podemos classificar esses organismos como escavadores e normalmente vivem na porção porosa do solo (Brown et al. 2006). Devido à mesofauna apresentar um corpo desprovido de estruturas fossoriais e por serem bem pequenos, utilizam os caminhos produzidos pela

macrofauna ao longo do perfil do solo (Morais et al. 2013). Sua participação nas cadeias tróficas inclui desde o consumo de parte da microfauna bem como a fragmentação dos resíduos vegetais em decomposição, que afetam a estrutura do solo produzindo bolos fecais modificando a ciclagem dos nutrientes e também promove a formação de húmus e a criação de bioporos (Correia e Oliveira 2000). Em ambientes que comportam grande diversidade de mesofauna, os húmus produzidos atuam diretamente melhorando a CTC do solo. Algumas práticas como colheita, queimadas, retirada da vegetação com exposição do solo e utilização de adubos amoniacais contribuem para redução da mesofauna, isso se deve a formação de microclimas desfavoráveis para reprodução e sobrevivência desses organismos edáficos (Primavesi 2002).

1.9.4 Microfauna

A microfauna corresponde a uma fração biológica do solo bem numerosa. No entanto, observa-se que em ecossistemas naturais sob algum tipo de intervenção a diversidade deste grupo de organismos é significativamente alterado (Cardoso 1992). Dentre os organismos que compõem a microfauna estão as bactérias e os fungos, que exercem papel primordial nos processos de decomposição dos resíduos orgânicos além de reservar grandes quantidades de biomassa e metabolismo respiratório (Souto et al. 2008). Essa microfauna se distribui amplamente no solo e apresenta uma enorme diversidade genética, metabólica e funcional, isso explica a ocupação de vários nichos ecológicos. A classificação da microfauna se dá através da similaridade entre seus metabolismos, suas características morfofisiológicas, bioquímicas e genéticas. Apesar de estar em grande quantidade e diversidade, a grande maioria das espécies que inclui a microfauna ainda são desconhecidas (Moreira e Campos 2013).

Apesar do pequeno tamanho corporal da microfauna, esses organismos representam quase metade de toda a biomassa da terra, são os principais responsáveis pela catalisação dos ciclos de nutrientes (Madigan et al. 2010). Os fungos têm como função a degradação da matéria orgânica e se relacionam simbioticamente com os vegetais além de atuarem no controle biológico (Persmark et al. 1996). Enquanto que as bactérias, representam cerca de 25 a 30% dessa biomassa e trabalham na ciclagem de nutrientes e transformam os nutrientes em formas absorvíveis pelas plantas (Madigan et al. 2010).

1.9.5 Raízes e rizosfera

A zona de solo denominada de rizosfera é uma região considerada o habitat ideal para o desenvolvimento dos microrganismos (Moreira e Cares 2009; Siqueira 2006). A rizosfera está disposta ao redor do conjunto de raízes e constitui uma área de elevada atividade microbiana, isso devido à excreção de alguns tipos de açúcares, vitaminas e aminoácidos que favorecem o desenvolvimento da flora microbiana (Perrando 2008). Esta região corresponde há uma área com cerca de 2 mm que circunda a superfície radicular. As raízes afetam consideravelmente o fornecimento de nutrientes dessa zona, seja pela absorção ou pela solubilização desses nutrientes na porção mineral do solo. As características químicas e biológicas da rizosfera podem variar em função das: características do solo e da zona não-rizosférica (Brady e Weil 2012)

Quanto à população microbiana presente na rizosfera, esse número pode ultrapassar até cem vezes quando comparado com uma região não-rizosférica, isso dependendo da espécie vegetal associada, sabendo que as leguminosas apresentam maior volume por unidade de raiz (Perrando 2008). A serrapilheira e a rizosfera são ambientes mais ricos em recursos de nutrientes, local preferido pelos microrganismos para completarem seu ciclo de vida. Segundo Brow (2002), nessas zonas os microrganismos proliferam consumindo ácidos orgânicos,

carboidratos, enzimas, aminoácidos e células excretadas pelas raízes, folhas e outras partes vegetais. Para Souto et al. (2008), isso pode ser explicado pelas melhores condições físicas e químicas do solo como, aeração, umidade, temperatura, pH e fontes de nutrientes que beneficiam o desenvolvimento desses microrganismos.

1.10 Manejo prático de nutrientes

Atualmente a busca pela melhoria ou manutenção qualidade do ecossistema solo através do emprego de técnicas de manejo que potencializem o grau de sustentabilidade das atividades agrícolas e o equilíbrio nos ciclos dos nutrientes tem crescido significativamente. A qualidade do solo é baseada em um conjunto de princípios que levam em consideração vários aspectos que vão desde a (i) convivência do ser humano com o meio ambiente de forma sadia e sustentável; e (ii) os efeitos de práticas de manejo sobre as características físicas, químicas e biológicas do solo com o objetivo de determinar um conjunto parâmetros sensíveis ao manejo empregado. Estes parâmetros também podem ser chamados como “indicadores da qualidade do solo”.

A Constituição Federal, no Artigo 225 cita que:

“Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

Portanto, é dever do governo e da sociedade manter e preservar o ecossistema solo como parte integrante do conceito de “meio ambiente” citado acima. Nota-se também alguns pontos importantes levantados por Barbosa et al. (2010) e Ely (1998) em suas pesquisas. Abaixo descrevemos os principais:

- (1) O ser humano é um organismo vivo que se desenvolve integralmente no meio ambiente sadio. Portanto, também podemos considerar que o ser humano se desenvolve sob um “solo sadio”. E que sem esta condição não há possibilidade de desenvolvimento socioeconômico;
- (2) Quanto mais sadio o ambiente melhor a qualidade de vida de seus ocupantes. O mesmo se aplica ao ecossistema solo, pois quanto mais sadio ele é, melhores são as condições para suprir as necessidades das plantas, dos animais e do homem. Também é importante salientar que impactos causados ao solo podem se dissipar para as águas subterrâneas e ambientes marinhos;
- (3) Toda atividade antrópica causa um certo grau de degradação ao meio ambiente. Assim como, algumas práticas de manejo aplicadas nos agrossistemas podem apresentar impactos mínimos ao ambiente edáfico (i.e., plantio direto). Já outras podem apresentar efeitos deletérios ao longo do tempo (i.e., cultivo mecanizado). Portanto, todo agrossistema necessita de uma adequação de manejo para maximizar a ciclagem de nutrientes e minimizar as perdas através das remoções de materiais (i.e., colheita, desmatamento, lixiviação, escoamento superficial).

Sendo assim, o manejo prático de nutrientes (MPN) pode ser empregado de forma a orientar sobre o manejo do ecossistema solo em termos ambientais, globais e socioeconômicos. Neste tópico vamos abordar três principais metas do MPN:

- 1) A reciclagem de nutrientes;
- 2) A utilização de fontes de matéria orgânica;
- 3) O manejo da adubação comercial com fertilizantes de origem mineral;

1.10.1 Reciclagem de nutrientes

A reciclagem de nutrientes é uma prática de manejo que visa a reutilização de qualquer fonte de material orgânico produzido no ecossistema solo e que não foi exportado durante o processo produtivo ou perdido através da erosão (Selle 2007). Estas fontes de material orgânico (i.e., compostos orgânicos, lixo urbano, efluentes de lodo de esgoto, resíduos do processamento de alimentos, resíduos da indústria madeireira e esterco de animais) tem as funções principais de fornecer matéria orgânica, de fornecer elementos essenciais para o desenvolvimento das plantas e de melhorar a qualidade do solo (Switzer e Nelson 1972). Por essas razões os materiais orgânicos são valiosos insumos recomendados para serem utilizados em agroecossistemas desequilibrados (Brady e Weil 2013). Na tabela 1.6 são descritos as principais fontes de material orgânico e uma breve caracterização de cada um deles.

Tabela 1.6 Fontes de material orgânico comumente utilizadas em agroecossistemas

Material	Principal fonte de:	Descrição
Adubação verde	N, K, Fe, Mn e Zn	Devem ser incorporados ao solo antes ou durante o florescimento da espécie de cobertura
Borra de café	N, Fe, Mn e Cu	Elevado potencial acidificante
Estercos	N, P, K, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu e B	Podem apresentar altos teores de C, sais solúveis, amônio e arsênico
Farinhas	N	Podem apresentar maus odores durante a incorporação
Feno de leguminosas	N, K, Fe, Mn, Zn, Cu, B e Mo	Pode conter sementes de espécies de plantas espontâneas
Folhas senescentes	N, Ca, Fe, Mn, Zn e B	-
Lodo de esgoto	N, P, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, B e Mo	Podem conter teores de sais solúveis e metais pesados tóxicos
Sangue seco	N, P e K	Rápida disponibilização de N
Tortas	N, P e K	Elevado potencial acidificante

Fonte: Brady e Weil (2013)

1.10.2 Utilização prática de fontes de matéria orgânica

Existem vários estudos práticos reportando os efeitos benéficos da aplicação de condicionadores orgânicos sobre as propriedades químicas e físicas do solo (Araujo et al. 2012; Brady e Weil 2013; Selle 2007; Brow 2002; Pereira et al. 2015; Embrapa 2011; Silva et al. 1999; Nascimento et al. 2003). No entanto, ao se utilizar uma fonte “orgânica” devemos tomar alguns cuidados como por exemplo:

- (1) Caracterizar a composição e tipo de material orgânico utilizado como fonte de matéria orgânica;

- (2) Determinar a taxa de aplicação baseado no teor de nitrogênio ou de fósforo do material;
- (3) Identificar a presença de metais pesados na composição do material orgânico;
- (4) Determinar a taxa de decomposição do material;

1.11 Referências

Alves MC, Suzuki LGAS, Suzuki LEAS (2007) Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico em recuperação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. DOI: 10.1590 / S0100-06832007000400002

Alves MV, Santos JCP, Góis DT, Alberton JV, Baretta D (2008) Macrofauna do solo influenciada pelo uso de fertilizantes químicos e dejetos de suínos no Oeste do estado de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32: 589 - 598.

Amaro Filho J, Assis Júnior RN, Mota JCA (2008) Física do solo: conceitos e aplicações. Imprensa Universitária, Fortaleza.

Anderson JM (1988) Invertebrate-mediated transport process in soils. *Agriculture Ecosystems and Environment* 25: 5 - 14.

Aquino AM, Silva RF, Mercante FM, Correia MEF, Guimarães MF, Lavelle P (2008) Invertebrate soil macrofauna under different ground cover plants in the no-till system in the Cerrado. *European Journal of Soil Biology* 44:191 - 197.

Argenton J, Albuquerque JÁ, Bayer C, Wildner LP (2005) Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 29:425 - 435.

Azeez SN (2016) Effects of Some local Conditions on Leaching Factor of Aridisols in Kalar/Garmian, Kurdistan-Iraq. *Kurdistan Journal of Applied Research*. Doi: 10.24017/science.2016.1.2.1

Baqy MA, Li J, Xu C, Khalid M, Xu R (2017) Determination of critical pH and Al concentration of acidic Ultisols for wheat and canola crops. *Solid Earth*. Doi: 10.5194/se-8-149-2017.

Barbosa FF, Fernandes EA (2010) Qualidade ambiental e qualidade de vida: As inter-relações para o estado de Minas Gerais. 48º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia e Administração e Sociologia Rural. Unimontes, UFV, Viçosa, MG, Brasil.

Baretta D, Brescovit AD, Knysak I, Cardoso EJBN (2007) Trap and soil monolith sampled edaphic spiders (arachnida: araneae) in Araucaria angustifolia forest. *Scientia Agricola*. 64: 375 - 383.

Baretta D, Santos JCP, Segat JC, Geremia EV, Oliveira-Filho LCL, Alves MV (2011) Fauna edáfica e qualidade do solo. *Tópicos Ciência do Solo* 7:119 - 170.

Battirola LD, Adis J, Marques MI, Silva FHO (2007) Composição da comunidade de artrópodes associada à copa de *Attalea phalerata* Mart. (Arecaceae), durante o período de cheia no Pantanal de Poconé, Mato Grosso, Brasil. *Neotrop. Entomol.* 36:640 - 651.

Berthelin J, Leval C, Toutain F (1994) Biologie des sols. Rôle des organismes dans l'altération et humification. In: Bonneau M, Souchier B (ed.) *Pédologie: 2 – Constituants et propriétés du sol*. Paris: Masson.

- Berude MC, Galote JKB, Pinto PH, Amaral AA (2015) A mesofauna do solo e sua importância como bioindicadora. *Enciclopédia Biosfera* 11:22.
- Birkeland (1999) *Soils and geomorphology*, 3rd edn. Oxford University Press, New York.
- Bockheim JG, Hartemink AE (2017) Alfisols. In: Bockheim JG, Hartemink AE (ed.) *The Soils of Wisconsin*. Springer, pp 129-147.
- Brady NC, Weil RR (2013) *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. Bookman, Porto Alegre.
- Brandão SL, Lima SC (2002) pH e condutividade elétrica em solução do solo, em áreas de pinus e cerrado na chapada, em Uberlândia (MG). *Caminhos de Geografia* 3:46-56.
- Brown GG (2002) Papel das interações biológicas no funcionamento edáfico: Interações entre a fauna e os microrganismos do solo. In: FERTIBIO, Rio de Janeiro, 2002. *Anais... Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*. p.1-4.
- Brown GG, et al. (2006) Biodiversity and function of soil animals in Brazilian agroforestry systems. In: Gama-Rodrigues AC, et al. (Eds.) *Sistema Agroflorestais: Bases científicas para o desenvolvimento sustentável*. Campos dos Goytacazes, RJ: Universidade Estadual do Norte Fluminense -UENF, p. 217-242, 2006.
- Buol SW, Southard RJ, Graham RC, McDaniel PA (2005) *Soil genesis and classification*, 5th ed. Iowa State University Press, Ames, IA
- Cabello, MJ, FH Gutiérrez Boem, CE Quintero e G. Rubio (2016). Características do solo envolvidas na sorção de fósforo em molisóis. *Soil Sci. Soe. Sou. J.* 80: 1585-1590. Doi: 10.2136 / sssaj2016.07.0235n
- Campos MCC, Soares MDR, Nascimento MF, Silva DMP (2016) Carbon storage in soil and aggregates of Inceptisols under different land use management systems in southern Amazonas. *Revista Ambiente e Água*. Doi: 10.4136/ambi-agua.1819
- Campos MCC, Soares MDR, Nascimento MF, Silva DMP (2016) Estoque de carbono no solo e agregados em Cambissolo sob diferentes manejos no sul do Amazonas. *Rev. Ambient. Água*. Doi: 10.4136/ambi-agua.1819
- Cardoso EJB N, Tsai SM, Neves MCP (1992) *Microbiologia do solo*. Campinas: SBCS. 360p
- Carter, MR (2001) Organic matter and sustainability. In: Ress, BC.; Ball BC, Campbell CD & Watson Ca. *Sustainable management of soil organic*. Wallingford, CAB International, p.9-22.
- Coelho MR, Fidalgo EC, Santos HG, Brefin MLM, Pérez DV (2013) Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento das plantas. *Capítulo 3*, pp 50-51
- Cordeiro MAS, Corá JE, Nahas E (2012) Atributos bioquímicos e químicos do solo rizosférico e não rizosférico de culturas em rotação no sistema de semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 36: 1794-1803
- Correia MEF, Oliveira LCM (2000) Fauna de solo: aspectos gerais e metodológicos. *Seropédica: Embrapa Agrobiologia (Embrapa Agrobiologia. Documento, 112)*. pp 46
- Costa FS, Albuquerque JA, Bayer C, Fontoura SMV, Wobeto C (2003) Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:527- 535
- Curry JP, Good JA (1992) Soil fauna degradation and restoration. *Adv. Soil Science*, 17:171-215
- Davis RM; Subbarao KV; Raid RN; Kurtz EA (1997) *Compendium of lettuce diseases*. California: Academic Press. pp 79

Devide ACP, Castro CM (2009) Manejo do solo e a dinâmica da fauna edáfica. <http://www.aptaregional.sp.gov.br/acesse-os-artigos-pesquisa-e-tecnologia/edicao-2008/2008-julho-dezembro/613-manejo-do-solo-e-a-dinamica-da-fauna-edafica/file.html>. Acessado em 28 Jun 2017

Doran JW, Parkin TB (1994) Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicsek DF, Stewart BA (ed) Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, SSSA, pp1-20

Doran JW (1997) Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. Rio de Janeiro. Anais. SBCS, CD-ROM.

Ely A (1998) Economia do meio ambiente. Fundação de Economia e Estatística Siegfried Emanuel Coser, Porto Alegre, RS

Embrapa (1997) Manual de métodos de análises de solo. Embrapa, Rio de Janeiro

Embrapa Agrobiologia (2011), NOTA TÉCNICA

Embrapa (2006) Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. 2 edn. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI

Ernani PR et al (2007) Potássio. In: Novais RF, Alvarez VH, Barros NF (ed). Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, 1:551 – 594.

Fernandes MR (2014) Fundamentos de solos. Belo Horizonte: EMATER-MG, pp 20

Fisher RF, Binkley D (2000) Ecology and management of forest soils. 3 edn. London, John Wiley, pp 489

Fragoso C, Rojas P, Brown G (1999) The role of soil macrofauna in the paradigm of tropical soil fertility: some research imperatives. In: Siqueira JO, Moreira FMS, Lopes AS, Guilherme LRG, Faquin V, Furtini Neto AE, Carvalho JG (edn) Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Viçosa: SBCS; Lavras: UFLA/DCS, pp 421-428

Grant CA et al (2001) A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. Fonte: Better Crops with Plant Food, Norcross, (2). [http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/\\$FILE/Page1-5-95.pdf](http://www.ipni.net/publication/iabrasil.nsf/0/43C5E32F5587415C83257AA30063E620/$FILE/Page1-5-95.pdf)>. Acesso em: 30 march 2017.

Guerra HOC (2000) Física dos solos. UFPB, Campina Grande

Hendrix PF, Crosley JRDA, Blair JM, Coleman DC (1990) Soil biota as component of sustainable agroecosystems. In: Edwards CA, LAL R, Madden P, Miller RH, House G (edn) Sustainable Agricultural Systems. Ankey: Soil and Water Conservation Society, pp. 637-654

Hopkin SP, Read HJ (1992) The Biology of Millipedes. New York: Oxford University Press, pp 233

Hu F, Li HX, Wu SM (1997) Differentiation of soil fauna populations in conventional tillage and no-tillage red soil ecosystems. *Pedosphere* 7:339 - 348

Ingham ER (2006) The Soil Biology Primer. pp 34. http://soils.usda.gov/sqi/concepts/soil_biology/biology.html>Acesso em 04 abr 2017

Karlen DL, Mausbach MJ, Doran JW, Cline RG, Harris RF, Schuman GE (1997) Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society* 61:4-10

Kiehl, JE (1979) Manual de edafologia: Relação solo-planta. Agronômica Ceres, São Paulo

- Kolka R, Bridgman SD, Ping C (2015) Soils of Peatlands: Histosols and Gelisols. In: Vepraskas MJ, Craft CB (ed) *Wetland Soils: genesis, hydrology, landscapes, and classification*, 2nd edn. CRC Press, pp 277-310
- Kushwa V, Hati KM, Sinha NK, Singh RK, Mohanty M, Somasundaram J, Jain RC, Chaudhary RS, Biswas AK, Patra AK (2016) Long-term Conservation Tillage Effect on Soil Organic Carbon and Available Phosphorous Content in Vertisols of Central India. *Agric Res*. Doi: 10.1007/s40003-016-0223-9
- Laforet MRC, Silva AB, Laia CR, Coelho MR, Fidalgo ECC, Monteiro JMG, Turetta APD, Balieiro FC, Santos QSC (2013) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Embrapa, Brasília
- Larson WE, Pierce FJ (1994) The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran JW, Coleman DC, Bezdicek DF, Stewart BA (edn) *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA, pp37-51
- Lavelle P (1996) Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biol. Intern.*, 33:3-15
- Lavelle P (2000) Ecological challenges for soil science. *Soil Science*, Washington, 165:73-86
- Lavelle P et al (1993) A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils of the humid tropics. *Biotropica*, 25:130-150
- Lavelle P, Pashanasi B (1989) Soil macrofauna and land management in peruvian amazonia (Yurimaguas, Loreto). *Pedobiologia*, 33:283-29
- Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL (2007) *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa
- Oades JM, Walters AG (1991) Aggregate hierarchy in soil. *Australian Journal of Soil Research* 29:815-828
- Odum EP (1971) *Fundamentals of Ecology*. Saunders, Philadelphia
- Oliveira F (2017) Disponibilidade de fatores de produção e desempenho agrônômico de culturas em sistema de integração lavoura-pecuária floresta. Tese, Universidade Estadual Paulista
- Oliveira FS, Varajao AFDC, Varajao CAC, Schaefer CEGR, Boulange B (2014) The role of biological agents in the microstructural and mineralogical transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil. *Geoderma* 226:250–259
- Pereira LB, Arf O, Santos NCB, Oliveira AEZ, Komuro LK (2015) Manejo da adubação na cultura do feijão em sistema de produção orgânico. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 45:29-38
- Perrando ER (2008) Caracterização física e biológica do solo após aplicação de herbicidas em plantio de Acácia-Negra (*Acacia mearnsii* DE Wild) No Rio Grande do Sul. Tese, Universidade Federal de Santa Maria
- Persmark L, Banck A, Jansson H (1996) Population dynamics of nematophagous fungi and nematodes in an arable soil: vertical and seasonal fluctuations. *Soil Biology and Biochemistry* 28:1005-1014
- Pietro-Souza W, Bonfim-Silva EM, Schlichting AF, Silva MDC (2013) Desenvolvimento inicial de trigo sob doses de nitrogênio em Latossolo Vermelho de Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 17:575-580
- Primavesi A (2002) *Manejo ecológico do solo: agricultura em regiões tropicais*. Nobel, São Paulo
- Righi G (1997) Minhocas da América Latina: diversidade, função e valor. In: XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. SBCS, Rio de Janeiro. CD-ROM. 28 pp

Rosado, A S (2000) Diversidade e ecologia de microrganismos do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICRO-BIOLOGIA DO SOLO, 5; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2, 2000, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UFSM, 2000.

Roscoe R, Miranda RAS (2017) Manejo da Adubação do Milho Safrinha. http://www.fundacaoms.org.br/base/www/fundacaoms.org.br/media/attachments/146/146/55ad609d99d8c870d1432afa6a875e06d3cda4a5ab6bb_capitulo-01_manejo-e-adubacao-do-milho-safrinha.pdf. Acesso em 04 de abril de 2017.

Sanginga N, Mulongoy K, Swift MJ (1992) Contribution of soil organisms to the sustainability and productivity cropping systems in the tropics. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 41:135-152

Santos JD (2007) A influência de diferentes sistemas agrícolas nas propriedades físicas e químicas das camadas superficiais do solo – São José da Lapa/MG. Dissertação, Universidade Federal de Minas Gerais

Selle GL (2007) Ciclagem de Nutrientes Em Ecossistemas Florestais. *Biosci J* 23:29-39

Sguario Junior JC (2000) Doses e formas de aplicação de potássio na cultura do feijoeiro em sistema de plantio direto na palha. Dissertação, Universidade Federal do Paraná

Silva EB, Resende JCF, Cintra WBR (2001) Resposta do feijoeiro a doses de fósforo em solos arenosos. *Ciência Rural* 31:973-977

Silva FM, Chaves MS, Lima ZMC (2009) Geografia Física II (Gênese dos solos). EDUFRN, Natal

Silva JAA, Donadio LC, Carlos JAD (1999) Adubação Verde em Citros. FUNEP, Jaboticabal

Siqueira JO, Franco AA (1988) Biotecnologia do Solo – Fundamentos e Perspectivas. ABEAS, ESAL/FAEPE, Brasília

Siqueira JO, Trannin ICB (2003) Cultivos transgênicos: possíveis riscos e alterações no agrossistema. In: I ENCONTRO SUL MINEIRO SOBRE SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO. Lavras, CD-ROM

Sirtoli AE, Motta ACV, Oliveira AC, Serrat BM, Wisniewski C (2006) Diagnóstico e recomendações de manejo do solo: aspectos teóricos e metodológicos. UFPR, Curitiba

Soil Survey Staff (1999) Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys, 2nd edn. Natural Resources Conservation Service, Washington-DC

Souto PC, Souto JS, Paes de Miranda JR, Santos RVD, Rocha Alves A (2008) Comunidade microbiana e mesofauna edáficas em solo sob Caatinga no semiárido da Paraíba. *Revista Brasileira de Ciências do Solo* 32:151-160

Souza IF, Archanjo BS, Hurtarte LCC, Oliveros ME, Gouvea CP, Lidizio LR, Achete CA, Schaefer CER, Silva IR (2017) Al-/Fe-(hydr)oxides–organic carbon associations in Oxisols — From ecosystems to submicron scales. *Catena*. Doi: 10.1016/j.catena.2017.02.017

Souza DMG, Miranda LN, Oliveira AS (2007) Acidez do solo e sua correção. In: Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, pp 205-274

Swift MJ, Heal OW, Anderson JM (1979) Decomposition in terrestrial ecosystems. Blackwell, Oxford

Switzer GL, Nelson LE (1972) Nutrient accumulation and cycling in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) plantation ecosystems: The first 20 years. *Soil Science Society of America Proceedings* 36:143-147

Taíz L, Zieger E (2004) Fisiologia vegetal. 3rd edn. Porto Artemed, Alegre

Teixeira W, Fairchild TR, Toledo MCM (2009) Decifrando a Terra – 2a edição. Companhia Editora Nacional, São Paulo

Toledo LO (2003) Aporte de serrapilheira, fauna edáfica e taxa de decomposição em áreas de floresta secundária no Município de Pinheiral, RJ. Dissertação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Troeh RF, Thompson LM (2007) Solos e fertilidade do solo. Andrei, São Paulo

Ucker FE, De-Campos AB, Hernani LC, Macêdo JR, Melo AS (2016) Movimentação vertical do íon potássio em Neossolos Quartzarênicos sob cultivo com cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Doi: 10.1590/s0100-204x2016000900054

Van QJ (2010) Física do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa

Vandeilson LA, Whéllyson PA, Franciezer VL, Amonikele GL, José RP, Napoleão EMB (2012) Fontes de matéria orgânica e períodos de incubação na mamoneira brs energia. Revista Educação Agrícola Superior Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior 27:35-38

Vargas MAT, Hungria M (1997) Biologia dos Solos dos Cerrados. Embrapa, Brasília

Velásquez G, Calabi-Floody M, Poblete-Grant P, Rumpel C, Demanet R, Condrón L, Mora ML (2016) Fertilizer effects on phosphorus fractions and organic matter in Andisols. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 16:294-304.

Vezzani FM, Mielniczuk J (2009) Uma visão sobre qualidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo 33:743-755

Vezzani FM, Mielniczuk J (2011) O Solo como Sistema. 1ª edn. Edição dos Autores, Curitiba

Zandonadi DB, Santos MP, Medici LO, Silva J (2014) Ação da matéria orgânica e suas frações sobre a fisiologia de hortaliças. Horticultura Brasileira 32:14-20

Capitulo 2

SISTEMAS DE

AGRICULTURA

SUSTENTÁVEL

Samuel Inocência Alves da Silva

Ailson de Lima Marques

Edjane Oliveira de Lucena

Begna Janine da Silva Lima

Alexandre José da Silva

Fernando José da Silva

Djail Santos

Tancredo Augusto Feitosa de Souza

2.1 Introdução

O conceito de agricultura sustentável pode variar significativamente em função do autor ou mesmo gerar ambas reações positivas e negativas a depender do leitor. Para alguns, agricultura sustentável significa um sistema caracterizado pelo uso de materiais orgânicos como fontes de carbono, rotação de culturas e baixo nível de investimento tecnológico e econômico, enquanto que para outros, o conceito de agricultura sustentável remete a ideia de mudança/transição de práticas convencionais para práticas que melhorem a eficiência no uso dos recursos naturais e aumente a rentabilidade das propriedades agrícolas (Hatfield e Karlen 1994).

Existem muitas razões para a elevada diversidade conceitual sobre agricultura sustentável, todas definições apresentando mérito e valor. Nossa intenção e propósito neste capítulo é reunir informações sobre os componentes os quais estão incorporados dentro de sistemas de agricultura sustentável. Pois, o papel da agricultura no próximo século será de fornecer alimento, energia e fibra para uma população em crescente expansão, assegurando simultaneamente que ambos os recursos naturais, água e solo, sejam conservados e melhorados em termos qualitativos (Brady e Weil 2013).

Há, portanto, uma necessidade de colocar os conceitos sobre agricultura sustentável em prática e criar assim uma atmosfera no qual a conservação e melhoria dos recursos seja a regra e não a exceção. Esperamos com este capítulo apresentar ao leitor os componentes dentro dos sistemas de agricultura sustentável. Estes componentes vão desde a água à gestão de plantas espontâneas, insetos e a fertilidade do solo. Nosso objetivo é fornecer informações sobre os processos que estão envolvidos em sistemas sustentáveis, de modo a não polarizar, mas dirigir e estimular o pensamento para como podemos abordar os problemas agrícolas de forma a não causar mais danos ao ambiente e ao ecossistema solo. As questões de qualidade ambiental, manutenção e conservação da diversidade, riscos de mercado e qualidade do solo e água muitas vezes direcionam nosso pensamento ao desenvolver e adotar sistemas agrícolas dentro de uma determinada região. Dessa forma, a agricultura sustentável fornece grande parte do estímulo para o desenvolvimento de novas tecnologias que serão apresentadas nos tópicos a seguir.

2.2 Relações hídricas e a sustentabilidade de sistemas agrícolas

A água é o recurso natural mais importante das reações bióticas e abióticas; em demasia, pode ocasionar calamidades públicas, mas sua escassez resultada em fome e miséria. Nos sistemas agrícolas a água, além de um insumo é um dos produtos, onde seu manejo vai ser responsável tanto pela produção, como pela sustentabilidade da paisagem (Maia Neto 1997). A produção agrícola mundial é um tema recorrente das discussões que envolvem sustentabilidade dos recursos hídricos, segurança alimentar e degradação de terras. A agricultura, como uma das principais atividades usuárias dos recursos hídricos, é apontada como uma das principais causas dos impactos dessas atividades. De um lado se tem a oferta de alimentos e do outro as queimadas, desmatamentos, morte de nascentes de rios, poluição do solo e lençol freático com uso de fertilizantes e defensivos (Christofidis 1997).

Nesse contexto, a demanda e complexidades envolvidas no manejo sustentável da água nos sistemas agrícolas reúne diferentes setores da sociedade, entre eles, as Universidades, Institutos, minorias sindicalizadas e organizadas, políticos e etc. A junção destes atores tem fundamental importância na busca de inovações tecnológicas, métodos e políticas de armazenamento e uso racional desse recurso (BNB 1999). Nas regiões áridas e semiáridas as

atividades agrícolas estão intimamente relacionadas com longos períodos de estiagem, insolação e suscetibilidade à erosão e erodibilidade (desertificação).

Onde a disponibilidade de água, seja para atividades domésticas, indústrias e agrícolas, quantitativa ou qualitativa, superficial ou subterrânea está ligada ao nível tecnológico empregado para sua coleta e armazenagem, afim de evitar sua evaporação, salinização e contaminação (Gheyi 2012). Especificamente no Semiárido brasileiro, os Sistemas Agrícolas enfrentam variados problemas que se correlacionam com as condições climáticas, como: solos susceptíveis à erosão e erodibilidade, salinização dos solos e mananciais, rarefação da vegetação/herbivoria e práticas rudimentares de manejo do solo, que dificultam o desenvolvimento produtivo sustentável em todas as áreas (Brasil 2005). Apesar dessas constatações, a agricultura familiar tem papel econômico importante nessa região, apesar de apresentar baixa ou nenhuma sustentabilidade, devido ao uso de tecnologias quase sempre agressivas ao ecossistema. Dados mostram que 70% dos alimentos que chegam à mesa da população são provenientes do trabalho de quatro milhões de famílias, das quais um pouco mais da metade vive no Semiárido (ASA 2017).

2.2.1 Correlações hídricas da região semiárida do Brasil

A região semiárida brasileira (Figura 2.1), ocupa uma área de 969.589 km² e inclui os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, a maior parte da Paraíba e Pernambuco, Sudeste do Piauí, Oeste de Alagoas e Sergipe, região central da Bahia e uma faixa que se estende em Minas Gerais, seguindo o Rio São Francisco, juntamente com um enclave no vale seco da região média do rio Jequitinhonha (Brasil 2005). De acordo com o INSA (2016), a população estimada do Semiárido ultrapassa 23,5 milhões de habitantes, essa população equivale a pouco mais de 34% da população do Nordeste e a cerca de 12% da do país.

Apesar do contexto histórico de concentração de terras, cerca de 90% dos estabelecimentos rurais agropecuários dessa região são ocupados pela agricultura familiar. Essa região apresenta uma grande diversidade de paisagens. Essa diversidade está caracterizada por condições de variabilidade espaço-temporal da precipitação típica dos climas semiáridos (BSh e Aw' de acordo com classificação de Köppen-Geiger), com ocorrência também de veranicos e secas, decorrentes de fenômenos meteorológicos, como o *El Niño*. Esse fenômeno, caracterizado pela Oscilação Decadal do Pacífico (PDO), ocasiona o aquecimento e evaporação das águas desse oceano, que influenciam na ocorrência de precipitações, em sua quantidade, intensidade e frequência, em áreas tropicais do planeta e especificamente no Semiárido intensifica o período de estiagem. A seca está diretamente associada à produção agrícola e miséria nessa região, sendo a principal responsável pelo sucesso, ou não, da agropecuária (Brasil 2005). As áreas secas do Semiárido (depressões/200-300m de altitude), apresentam clima com pluviosidade entre 300 a 500 mm/ano mal distribuída. Nas áreas úmidas (serras, chapadas e brejos/500-1300m de altitude), as chuvas podem atingir 1.500 a 2.000 mm/ano. As serras, chapadas e brejos são zonas fisiográficas de condições microclimáticas úmidas. Nesses ambientes as áreas ficam expostas ao barlavento, tornando-se úmidas devido à concentração de umidade e condensação, resultando em no orografismo da atmosférica (Araújo 2012). Diante da diversidade meso e microclimática, do substrato rochoso, dos tipos de relevo, solos e vegetação, o Semiárido brasileiro tornou-se um mosaico ambiental (Rocha 2009). A vegetação está distribuída em 17 grandes unidades de paisagens, que por sua vez estão subdivididas em 105 unidades geoambientais. Predominantemente há Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica em áreas de core, transição e tensão (Rodal e Sampaio 2002).

Os solos são dos tipos Entisols, Oxisols, Ultisols, Aridisols, Inceptisols, Vertisols, Mollisols, entre outros, em pequenas extensões (Jacomine 1996). Também podem ser encontradas áreas com alta pedregosidade superficial, que constitui os pavimentos desérticos de calhaus e cascalhos de quartzo e quartzito, além dos afloramentos de

quartzos branco-leitosos e micaxistos cinzento-oliváceos (Kill e Correa 2005). Assim, essa complexidade natural e o contexto de usos e ocupações carentes de informações científicas, originaram um mau manejo, especificamente do solo e vegetação, com práticas inadequadas, pelo menos ao longo dos últimos 300 anos (Brasil 2005). Dessa forma, o processo de desertificação que é próprio da área está sendo intensificado (Figura 2.2), com a degradação extrema dos solos, da vegetação, da biodiversidade e assim, da capacidade produtiva das atividades agrícolas (G1 2017). De acordo com estudos do Ministério do Meio Ambiente (Brasil 2005), as áreas do Semiárido com sinais extremos de degradação, os chamados "Núcleos de Desertificação", estão em Gilbués (PI), Irauçuba (CE), Seridó, fronteira entre os Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, e Cabrobó (PE). Especificamente no estado da Paraíba, segundo dados do Instituto Nacional do Semiárido (G1 2017), o estado é o mais afetado proporcionalmente pelo processo de degradação ambiental, com terras inférteis e improdutivas, que ameaça 94% das terras em caráter irreversível.

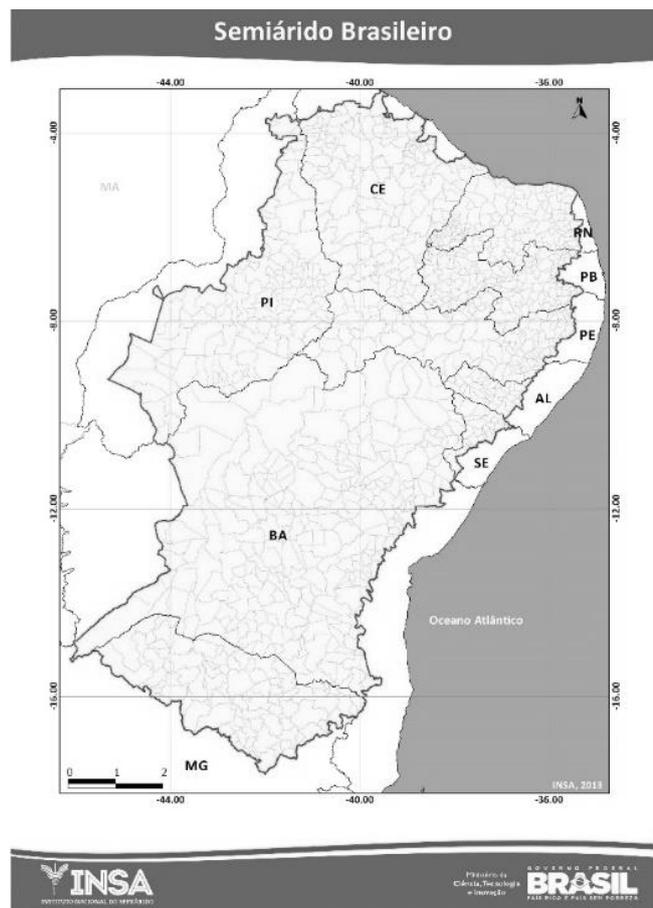


Figura 2.1 Delimitação do Semiárido brasileiro. Base cartográfica do INSA (2010). Fonte: MI (2006).

2.2.2 Recursos hídricos, políticas públicas e a busca pela sustentabilidade no semiárido

Perante o meio natural e ambiental dessa região, dos níveis de degradação de terras e do quantitativo populacional, muitas políticas públicas têm se voltado ao estabelecimento da convivência com a seca de forma sustentável. Entre essas políticas, a de acumulação de água em açudagem, que são lavradas desde o período Imperial,

tem papel importante na região através de duas formas. A primeira é a acumulação em grandes reservatórios com capacidade de regularização plurianual; e a segunda do emprego de pequenos reservatórios. Porém, devido ao alto índice de evaporação potencial, esse tipo de infraestrutura hídrica se tornou ultrapassada principalmente na pequena açudagem, que não resiste aos efeitos da seca prolongada. Estima-se que o Nordeste abriga mais de 70 mil açudes, que acumulam 37 bilhões de m³ de água. Todo esse volume de água está concentrado em propriedades particulares e não é compartilhado com a população difusa do Semiárido (Brasil 2005).

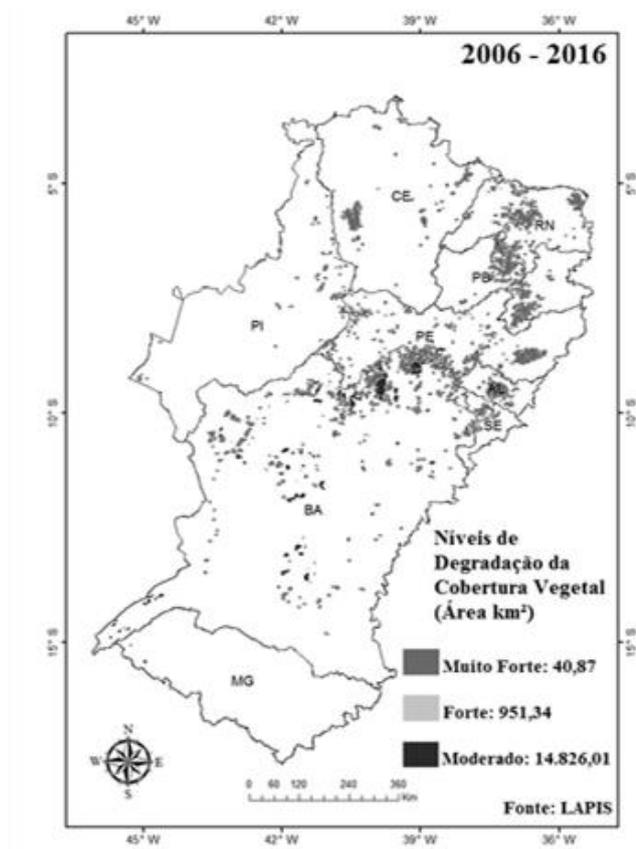


Figura 2.2 Avanço da desertificação no Semiárido brasileiro nos últimos 10 anos. Fonte: G1 (2017). Base de dados: Laboratório de Processamento de Imagens de Satélites (LAPIS) - Universidade Federal de Alagoas.

Além da açudagem, surgiram investimentos em perfuração de poços e construção de cisternas rurais, que vieram a se tornar as principais formas de captação e armazenamento de água da região. De acordo com o INSA (2016), o Programa social 1 Milhão de Cisternas (P1MC), que mais tarde se transformou no Programa Uma Terra Duas Águas (P1+2) (Figura 2.3) é uma das principais políticas de acesso e armazenamento de água na agricultura familiar do Semiárido. Segundo a Articulação no Semiárido Brasileiro (ASA 2017):

“Com o intuito de ampliar o estoque de água das famílias, comunidades rurais e populações tradicionais para dar conta das necessidades dos plantios e das criações animais, a ASA criou em 2007 o Programa Uma Terra e Duas Águas, o P1+2. O nome do programa faz jus à estrutura mínima que as famílias precisam para produzirem — o espaço para plantio e criação animal, a terra, e a água para cultivar e manter a vida das plantas e dos animais. O P1+2 integra o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido, da ASA. Esse programa-guarda-chuva congrega também o Programa Um Milhão

de Cisternas, o P1MC. Os objetivos do P1+2 são promover a soberania e a segurança alimentar e nutricional das famílias agricultoras e fomentar a geração de emprego e renda para as mesmas. A estratégia para alcançar esses objetivos é estimular a construção de processos participativos para o desenvolvimento rural do Semiárido brasileiro. ”



Figura 2.3 Cisterna calçada no Semiárido paraibano. Fonte: ASA (2017).

Devido ao contexto geológico do Semiárido ser formado por rochas básicas, que dão as águas subterrâneas altos teores de sais, foi criado em 2013 o Programa Água Doce (PAD), que é uma ação do Governo Federal coordenada pelo Ministério do Meio Ambiente, em parceria com instituições federais, estaduais, municipais e sociedade civil. Este programa visa o estabelecimento do acesso à água de boa qualidade para o consumo humano no Semiárido, promovendo a implantação de sistemas de dessalinização as populações de baixa renda em comunidades difusas (Figura 2.4).



Figura 2.4 Sistema de dessalinização do Programa Água Doce no estado da Paraíba. Fonte: PAD (2014).

Dados do Programa Água Doce na Paraíba preveem, até 2020, a implantação de 93 sistemas de dessalinização no estado, envolvendo R\$ 22 milhões em recursos. Desse total, 15 sistemas já foram entregues, beneficiando 1.753 famílias ou aproximadamente 7 mil pessoas. Também há 40 sistemas em fase de obras (Portal Brasil 2016). Nos dias atuais, a chegada das águas, através transposição do rio São Francisco (Figura 2.5), tem fundamental importância para o Semiárido. O Projeto São Francisco tende a beneficiar mais de 12 milhões de pessoas em Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte.

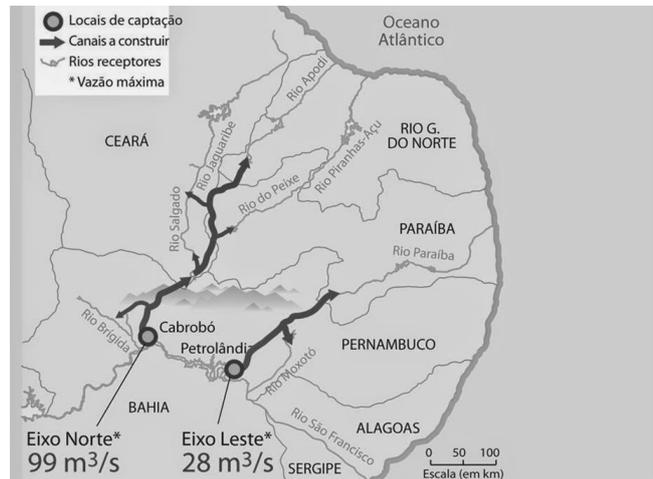


Figura 2.5 Eixos da transposição do rio São Francisco. Fonte: Rádio Senado (2016).

Para retirar 1,4% da vazão do São Francisco, foi elaborado esse projeto que conta com 477 km de extensão, e que inclui a construção de aquedutos, canais, túneis, subestações de energia elétrica, estações de elevação e reservatórios. Ele interliga a bacia do rio São Francisco com as bacias do Nordeste Setentrional. O projeto foi dividido em dois eixos Norte e Leste. A obra contemplará 390 municípios nestes Estados que, após atender a prioridade de abastecimento, poderá impulsionar o desenvolvimento socioeconômico com a geração de renda das famílias por meio do aproveitamento da água nos reservatórios locais. O eixo leste, já pronto, vai atender 4,5 milhões de pessoas em 168 municípios de Pernambuco e Paraíba; já o eixo norte (com obras paralisadas) vai atender 7,5 milhões de pessoas em 222 cidades de Pernambuco, Paraíba, Ceará e Rio Grande do Norte. A previsão do governo brasileiro é concluir a obra até 2017 sob um custo de R\$ 9,6 bilhões. Após a entrega aos governos estaduais a Agência Nacional de Águas formulará a tarifa pelo uso da água do rio (Portal Brasil 2017). Esse projeto é uma das maiores obras hídricas do mundo e pretende condicionar sustentabilidade ao Semiárido, porém necessita da integração do conhecimento científico, leis específicas, distribuição e gestão do recurso para criação da governança dessas águas.

2.3 Manejo do solo

A utilização inadequada dos recursos naturais interfere nos ecossistemas, prejudicando sua capacidade de auto regulação e renovação, causando uma progressiva redução da biodiversidade, degradação ambiental e das condições de vida (Moreira 2004). Assim, o manejo do solo possui influência nas perdas de solo, de água, nutrientes e matéria orgânica por erosão hídrica (Hernani 1999). Manejo do solo, é definido, segundo Curi (1993) como “a

soma de todas as operações de cultivo, práticas culturais, fertilização, correção e outros tratamentos, conduzidos ou aplicados a um solo, que visam a produção de plantas”. Sendo a adequada realização deste, de fundamental importância para a sustentabilidade dos plantios e do ecossistema onde estão inseridos. O que inclui a seleção das áreas de plantio baseada na aptidão silvicultural e do preparo do terreno considerando as limitações ambientais que possam impactar no crescimento das plantas. As práticas utilizadas são a conservação dos solos, a adubação balanceada e a manutenção de resíduos da colheita (raízes, folhas, galhos e cascas). Existem diversas inter-relações entre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, as quais controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço. Assim, qualquer mudança que ocorre no solo pode alterar diretamente sua estrutura e sua atividade biológica e, conseqüentemente, sua fertilidade, refletindo nos agroecossistemas (Brookes 1995), podendo promover prejuízos à qualidade do solo e à produtividade das culturas. Diante disso, a variação desses atributos, que é determinada pelo manejo e uso do solo, e sua avaliação, é importante para a sustentabilidade do sistema.

O uso da terra de acordo com o seu potencial é fundamental para a conservação do solo e da água. Para o solo ser sustentável é preciso usá-lo de acordo com sua capacidade de uso ou aptidão agrícola. Existem vários sistemas de avaliação do potencial desse uso terras. No Brasil, são mais usados: o Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras, também conhecido como Sistema FAO/Brasileiro de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras (Ramalho Filho e Beek 1995; Rezende et al. 1999), fundamentado na interpretação do levantamento de solos, tendo como principal objetivo a orientação no planejamento agrícola em grande escala e o Sistema de Classificação da Capacidade de Uso das Terras (Lepshc 1991; Alvarenga e Paula 2002), o qual consiste em uma adaptação do sistema desenvolvido e usado pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos da América. Este, enfatiza nas práticas de conservação do solo visando o controle da erosão, sendo recomendado ao nível de propriedade ou de pequenas bacias hidrográficas, exigindo um levantamento bem detalhado do meio físico, dificultando sua utilização em grandes extensões de terra. São três os grupos de capacidade de uso neste sistema de classificação das terras, subdividido em classes (Tabela 2.1) e subclasses.

Tabela 2.1 Classes de capacidade de uso do solo.

Classes	Capacidade de uso
I	Terras cultiváveis, aparentemente sem problemas de conservação do solo.
II	Terras cultiváveis, com problemas simples de conservação do solo
III	Terras cultiváveis, com problemas complexos de conservação do solo.
IV	Terras cultiváveis apenas ocasionalmente ou em extensão limitada, com sérios problemas de conservação do solo.
V	Terras em geral adaptadas para pastagem e, em alguns casos, reflorestamento, sem necessidade de práticas especiais de conservação do solo.
VI	Terras em geral adaptadas para pastagem e/ou reflorestamento, com problemas simples de conservação do solo.
VII	Terras em geral adaptadas para pastagem e/ou reflorestamento, com problemas complexos de conservação do solo.
VIII	Terras apropriadas apenas para proteção da flora e fauna silvestre, recreação ou para fins de armazenamento de água.

O Grupo A que consiste em terras passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagem e/ou reflorestamento e vida silvestre, o qual comporta as classes I, II, III e IV. Grupo B, relacionado a terras impróprias para uso intensivo, mas ainda aptas para pastagem e/ou reflorestamento e/ou vida silvestre, comporta as classes V, VI e VII. E Grupo C, que engloba terras não adequadas para cultivos anuais, perenes, pastagem ou reflorestamento, mas que são apropriadas para proteção da flora e fauna silvestre, recreação ou armazenamento de água, este comporta a classe VIII (Moreira 2004). Quanto as subclasses de capacidade de uso, são definidas quatro: Subclasse e (limitação por erosão aparente ou risco de erosão); Subclasse s (limitação por condições adversas de solo); Subclasse a (limitação por excesso de água no solo); e Subclasse c (limitação por condições adversas de clima). Cada subclasse se refere ao tratamento dado ao solo, de modo a superar as limitações de uso e permitir uma produção sustentável. Como por exemplo um declive acentuado (subclasse e); pouca profundidade (subclasse s); lençol freático elevado (subclasse a); e uma seca prolongada (subclasse c).

Como o manejo do solo consiste em um conjunto de operações que são realizadas com o objetivo de fornecer condições favoráveis ao desenvolvimento e à produção das plantas cultivadas. Para que esse objetivo seja alcançado, é indispensável à adoção de diversas práticas, envolvendo os sistemas de plantio direto ou convencional. Esses sistemas de manejo, associados a certas práticas agrícolas, como rotação de culturas e cultivos de cobertura, promovem alterações significativas na dinâmica da MOS (Loss et al. 2009), parâmetro de extrema importância para a conservação dos solos.

De modo geral, as terras agrícolas sofrem um processo acelerado de degradação da sua capacidade produtiva pelo uso inadequado manejo do solo, principalmente pela mecanização intensa e desordenada, associada a sistemas agrícolas de monoculturas contínuas, sendo a principal forma de degradação, a erosão do solo (Mondardo 1984). Segundo Castaldo et al. (1998) os problemas de erosão ocasionados pelo uso indiscriminado de implementos agrícolas via preparo convencional do solo, vem sendo corrigidos por sistemas conservacionistas de produção, tais como o cultivo mínimo e o plantio direto. Além disso, tais sistemas quando bem manejados possibilitam em longo prazo a recuperação da degradação dos solos.

Em sistema de plantio convencional, particularmente nos trópicos, o manejo físico com implementos mecânicos determina perdas de matéria orgânica, em virtude da diminuição dos teores de carbono orgânico. E no sistema de plantio direto, a produção é conservacionista, se contrapondo ao sistema tradicional de manejo. Envolve o uso de técnicas para produzir, preservando a qualidade ambiental. Fundamenta-se na ausência de preparo do solo e na cobertura permanente do terreno através de rotação de culturas. Segundo Gerald et al. (1972) algo que deve sempre nortear o planejamento em relação ao manejo do solo é o acompanhamento ou a avaliação periódica da resistência mecânica do terreno, pois esta é uma excelente maneira de se determinar, para cada local, as necessidades de cultivo profundo e avaliar os efeitos do manejo, como o cultivo mínimo ou seqüência de culturas, sobre as condições físicas do solo. Procedendo desta maneira, pode-se conhecer melhor os efeitos causados no solo pelo sistema de produção adotado, assim como, dar subsídios importantes para conservação do mesmo.

2.4 Manejo cultural

Os sistemas agrícolas sustentáveis são um conjunto de técnicas e práticas que atendam a três requisitos: ser socialmente justo, ecologicamente correto e economicamente viável. Esses sistemas, visam a produção com o mínimo de impactos aos recursos naturais. A agricultura para ser considerada sustentável deve garantir, às gerações futuras, a capacidade de suprir as necessidades de produção e qualidade de vida no planeta. Para a conservação dos solos é necessário o uso de práticas de manejo que reduzam os impactos negativos gerados pela ação humana. Em sistemas agrícolas alguns pontos devem ser considerados: manter o solo coberto durante e após o cultivo, para

minimizar o impacto direto da gota de chuva, que causa a destruição dos agregados do solo, o entupimento dos poros e a formação de crosta superficial, que além de dificultar a germinação das sementes, reduz a infiltração da água no solo e contribui para a formação de enxurradas. E deve-se adotar práticas agrícolas que mantenham e/ou elevem a capacidade de infiltração da água no solo e reduzam o escoamento superficial e a formação de enxurradas (Bertolini e Lombardi Neto 1993).

Para um manejo sustentável, é importante que sejam plantadas diversas espécies vegetais adaptadas que servirão para cobrir o solo, protegendo-o do sol intenso e da força das gotas de chuvas, e que possuam sistemas radiculares que irão explorar volumes diferentes do solo (Cardoso 2008). A diversidade de vegetação no ecossistema natural é a necessária para fornecer matéria orgânica diversificada que, por sua vez, fomenta o desenvolvimento de variadas formas de vida no solo, aumentando assim o leque de nutrientes mobilizados. Nesse sentido, a produtividade do ecossistema depende da manutenção da diversidade vegetal que fornece as condições necessárias para a diversidade biológica nos solos (Primavesi 2008).

Muitos avanços tecnológicos e práticas de manejo vêm sendo introduzidos na produção agrícola com o objetivo de torná-la ambiental, social e economicamente viável e compatível (Altire 2004). O manejo cultural é uma técnica que contribui para a conservação e recuperação dos solos. Através do plantio direto, rotação de culturas, sucessão de cultura, consórcio, adubação verde e outras. O plantio direto é uma técnica que contribui para a sustentabilidade de sistemas agrícolas intensivos, pois mantém o solo coberto por restos culturais ou por plantas vivas o ano inteiro, minimizando os efeitos da erosão, e por manter o teor de matéria orgânica (Albuquerque et al. 1995). A formação e manutenção da cobertura morta tem efeitos positivos no escoamento superficial, infiltração e perdas de solo (tabela 2.2).

Tabela 2.2 Efeito de diferentes níveis de resíduos culturais no escoamento superficial, infiltração e perda de solo, em declividade de 5%.

Resíduos (t/ha)	Efeitos sobre a água e solo		
	Escoamento (%)	Infiltração (%)	Perda de solo (t/ha)
0	45,3	54,7	13,69
0,550	24,3	74,7	1,56
1,102	0,5	99,5	0,33
2,205	0,1	99,9	0
4,410	0	100,0	0

Fonte: Adaptado de Ruedell (1998).

O uso da adubação verde é muito antigo, tem o objetivo de regenerar a fertilidade do solo, normalmente, se usa uma leguminosa para ser incorporada ao solo na véspera do cultivo principal. A rotação de culturas pode ser definida como a alternância de diferentes culturas, na mesma área e na mesma estação do ano. Já a sucessão de culturas pode ser definida como o ordenamento de duas culturas na mesma área agrícola por tempo indeterminado, cada uma cultivada em uma estação do ano (Franchini et al. 2011). A rotação e consórcio de adubos verdes com o objetivo de melhorar a cobertura do solo, promover o efeito benéfico no manejo de plantas espontâneas e aprimorar a eficiência na ciclagem de nutrientes, a rotação e a mistura de espécies feita por meio do consórcio de adubos verdes é prática de grande utilidade para o cultivo de qualquer cultura.

O plantio intercalado permite que os sistemas de cultivo reutilizem seus próprios estoques de nutrientes. A medida que algumas culturas exaurem o solo, outras, enriquecem o solo com matéria orgânica e nutrientes. O nitrogênio do solo, por exemplo, pode ser incrementado com a incorporação de leguminosas à mistura de cultivos, e a assimilação de fósforo pode ser intensificada com o plantio de espécies que estimulem as associações com micorrizas (Vandermeer 1989).

O cultivo misto é uma estratégia usada para evitar ataques de insetos e pragas e as coberturas podem efetivamente suprimir o crescimento de ervas adventícias e diminuir a necessidade de controlá-las; além disso, as práticas culturais como a cobertura morta, mudanças nos períodos de plantio e na densidade, uso de variedades resistentes e de inseticidas botânicos e/ou repelentes podem diminuir a interferência das pragas (Thurston 1992). A rotação de culturas pode contribuir para melhorar a qualidade física do solo no sistema de plantio direto. A produtividade das culturas é determinada pela qualidade física do solo, pois essa influencia diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas e, indiretamente, sobre os demais atributos do solo (químicos e biológicos) (Franchini et al. 2011).

2.5 Manejo de plantas daninhas

Planta daninha é qualquer vegetal local ou invasor que tem seu crescimento espontâneo em local indesejável e que cause danos econômicos (Silva et al. 2007). As plantas daninhas quando crescem juntamente com a cultura estabelecida, competem por luz, nutrientes, espaço e água, em meio estético influenciam na poluição visual, e podem ser hospedeiras de pragas e doenças, causando sérios problemas as plantas concorrentes, dificultando o manejo e onerando os custos de produção (Carvalho 2013).

O controle dessas plantas dependerá do nível da espécie infestante e do dano econômico gerado. Muitas das vezes é necessária a utilização de um ou mais métodos para a obtenção de um controle efetivo. Existem vários controles que podem ser utilizados como: o preventivo, cultural, mecânico ou físico, biológico e químico. A junção de vários métodos para atingir o nível desejado de controle e denominado de “controle integrado”.

- a) **Controle Preventivo:** Consiste no uso de práticas para prevenir a introdução, estabelecimento, e/ou manifestação/disseminação das plantas indesejáveis (Lorenzi 2006). Essa prática visa apenas bloquear a entrada e redução da infestação, para as que estão situadas se adota outros métodos de controle. Existe uma legislação de sementes a nível nacional e estadual para o controle de entrada e saída de sementes ou propágulos, estabelecendo limites para cada cultura ou grupo de culturas. A nível local essa prevenção deve partir do agricultor ou um conjuntos de pessoas que deseja prevenir a introdução e infestação, utilizando as seguintes práticas: usar sementes certificadas, evitar trânsito de animais de áreas infestadas para áreas livres de plantas daninhas, quarentena de animais recém introduzidos, limpar os equipamentos após trabalho em áreas com plantas daninhas indesejáveis, inspecionar a matéria orgânica advindas de outras área e limpeza de canais, água de irrigação, cercas e beira de estradas (Silva et al. 1999).
- b) **Controle Cultural:** Para o controle cultural é utilizada práticas agrícolas que ajudam na eliminação das plantas daninhas podendo aumentar o potencial competitivo da cultura, assim inibindo o desenvolvimento das plantas daninhas (Fleck 1992). Assim, faz-se necessário conhecer as características da cultura pretendida e das plantas daninhas situadas no local, para que se selecione a cultura a ser implementada na área, e obter boa eficiência sobre as plantas daninhas. As práticas mais comuns e utilizadas são: a rotação de culturas, espaçamento e densidade de plantio, e cobertura verdes.
- c) **Rotação de culturas:** A rotação de culturas consiste em diversificar espécies ou cultura em um terreno, com finalidade de assegurar ou restabelecer um equilíbrio depauperado pelo monocultivo (Fancelli 1987).

Cada cultura geralmente é infestada por plantas daninhas com o mesmo tipo de exigência nutricional e adaptações climáticas, como apresenta em maioria dos casos o mesmo hábito de crescimento (ex. *Echinochloa crus-galli* L. em lavouras de *Oryza sativa*). O uso da rotação serve para diminuir a alta incidência de determinadas plantas daninhas adaptadas para uma determinada cultura, quebrando seu ciclo. Com isso, a escolha da cultura para ser incluída na rotação deve ser contrastante quanto a características da planta daninha (Pacheco et al. 2009).

- d) Espaçamento e densidade de plantio:** Quanto menor o espaçamento entre/nas linhas de cultivos aumentará a densidade de plantas, com isso mais rápido e precoce será o fechamento da cultura. Geralmente esse método é efetivo em plantas daninhas sensíveis ao sombreamento. Porém se a densidade de plantas numa determinada área ultrapassar o limite haverá competição entre a própria cultura (Fernandes et al. 1999).
- e) Coberturas verdes:** A cobertura verde influencia nas condições físico-químicas do solo além de algumas espécies utilizadas inibem algumas plantas daninhas (Lorenzi 2006). Algumas espécies utilizadas são: Crotalária (*Crotalaria juncea*), guandu (*Cajanus cajan* L.), tremoço (*Lupinus*), nabo (*Brassica rapa subsp. rapa*) e aveia (*Avena sativa*).
- f) Controle mecânico ou físico:** São práticas de eliminação das plantas daninhas através do efeito físico-mecânico (Carvalho 2013). Os principais métodos utilizados são: capina manual, arranquio manual, roçada do mato, inundação, queima e cobertura morta.
- g) Capina manual:** É o um dos métodos mais amplamente utilizado na agricultura e com alta eficiência, porém apresenta alto custo em mão-de-obra encarecendo o retorno econômico, a ferramenta utilizada é a enxada.
- h) Arranquio manual:** É bastante utilizado em pequenas áreas para controle de plântulas, hortas, viveiros e jardins, ainda se pode utilizar quando o controle com a enxada não alcança ou complementar os outros métodos. É considerado o método mais de controle.
- i) Roçada:** Pode ser manual ou mecânica, utilizada mais no controle de plantas daninhas em cultivos perenes, ou/em terrenos declivosos para controle da erosão. Também é empregada no controle de pastagem, beiras de estradas, terrenos baldios e praças.
- j) Inundação:** É utilizado mais em terrenos nivelados e planos (ex. arroz inundado). É considerada um meio efetivo de controle, pois a inundação prologada pode erradicar as plantas daninhas presentes do local, no entanto, não é muito usual.
- k) Cobertura morta:** Pode ser utilizada resto de vegetais com uma camada espessa ou plasticultura (cobertura com plástico ou polietileno). A cobertura com restos vegetais é bastante utilizada em plantio direto, na plasticultura é geralmente restrita em locais pequenos por seu alto custo. Além de proporcionar o controle das plantas daninhas (com sombreamento, aumento de temperatura, impossibilidade de emergência) mantém a umidade do solo.
- l) Queimada:** Utiliza o fogo para eliminar as plantas daninhas, é usualmente utilizada em estradas, canais de irrigação e outras áreas não cultivadas.
- m) Cultivo mecânico:** Esse método é realizado com o uso de implementos cultivadores através de veículos de tração motora (ex. micro-tratores, tratores de bitolas) e/ou animais. O controle por este tipo de equipamento se dar pelo enterro de algumas plantas daninhas, corte abaixo das gemas de crescimento e o rompimento da relação solo-raiz levando a morte das daninhas (Embrapa 2003).
- n) Controle biológico:** Utiliza os inimigos naturais (plantas e doenças) para controle de plantas daninhas (Bueno 2009). Lorenzi (2006) argumenta que se deve considerar a inibição alelopática como parte do controle biológico, onde certas plantas secretam substâncias que inibem o crescimento da outra. O objetivo deste controle não é a erradicação por completo, mas a redução das plantas infestantes a níveis aceitáveis. No entanto esse controle é limitado para algumas espécies pois o agente do controle biológico é específico ao hospedeiro.

- o) **Controle químico:** É o controle que utiliza produtos químicos para combater as plantas daninhas. Esses produtos químicos são chamados de “herbicidas”, e dentre eles existe uma grande diversidade de princípios ativos e formulações (Lorenzi 2006). Quando utilizado corretamente a eficiência desse produto é alta tornando-se muitas vezes indispensável para a agricultura, porém quando manejado inadequadamente pode causar sérios problemas ambientais e econômicos.

Os herbicidas podem ser classificados segundo sua atividade, modo de aplicação, ou pela semelhança química (Oliveira Jr. et al. 2011). Em geral, os herbicidas são seletivos (atua em algumas plantas daninhas sem prejudicar a cultura) e não seletivos (mata todas as plantas que tiver contato com ele), de contato e/ou sistêmico. Pode ser classificado também em relação ao seu estágio de desenvolvimento da planta daninha ou da própria cultura, denominados de pré-emergentes (aplicados antes da germinação das ementes) e pós-emergentes (após a germinação, apresentando as folhagens).

Existem diversas formulações a ser utilizada, na forma de sólida (granulados, pós molháveis e grânulos desprezíveis em água) e em forma líquida (soluções aquosas, concentrados emulsionáveis, microemulsões e suspensões concentradas). Um fenômeno que está relacionando ao uso de herbicidas é a resistência das plantas daninhas ao princípio ativos desses produtos, casos já foram constatados e relatados, ou seja, plantas que anteriormente eram controladas por determinado herbicidas desenvolveram resistência e não são mais afetadas por esse produto. Essa resistência é estimulada quando se usa por muito tempo o mesmo mecanismo de ação (ex. *Conyza bonariensis*, *Digitaria insularis* L. ao glifosato) (Chistoffoleti e López-Ovejero 2008).

2.5.1 Manejo integrado

Não podemos pensar em controlar as plantas daninhas com medidas isoladas, mas sim com um conjunto de controles e métodos que influencie positivamente no crescimento e produção, e que seja viável ao meio ambiente e rentável economicamente. O manejo de controle das plantas daninhas visa alcançar através da união de práticas o melhor crescimento e desempenho produtivo de cultivos, sistemas de produção, campos paisagísticos entre outros, e conseqüentemente, uma menor infestação e se possível sua erradicação. Para um combate efetivo é importante conhecer sobre a dinâmica da daninha, seu tipo de crescimento, hábito e morfologia, a fim de entendê-la e programar um manejo que seja efetivo no seu controle (Deuber 1992).

Nos sistemas agroecológicos o manejo dos controles é diferenciado por visar a segurança ambiental e humana, sendo diminuída ou extinguida a aplicação de produtos químicos sintéticos e agressivos ao meio, dando enfoque aos métodos que segue as normas que dispõe sobre a agricultura orgânica pela lei 10.831 de 23 de dezembro de 2003.

Na tabela 2.3 e 2.4 demonstram o sistema de controle integrado implementado na cultura do café e na alface. O manejo utilizado na cultura de café tem uma variação dos controles mecânico e cultural integrando vários métodos (Tabela 2.3). Para a alface tem-se somente a utilização do controle mecânico por se tratar de uma propriedade de pequeno porte com limitação de área, e com sistema de agricultura orgânica²⁹. Com isso, o manejo de cada área ou cultura desejada dependerá da região, nível tecnológico e o modelo agrícola adotado.

²⁹ Propriedade agroecológica localizada em Remígio-PB (6°57'4.26"S; 35°47'10.86"O)

Tabela 2.3 Controle integrado das plantas daninhas do café em sistema agroecológico em determinado tempo e espaço.

Controle integrado de plantas daninhas em produção de Café (<i>Coffea</i> sp.)				
Época	Período	Safr	Controle de plantas daninhas	
			Nas entrelinhas	Nas linhas
		Vigente	Capina manual	Capina manual
Início das chuvas	Setembro a novembro	Seguinte	Roçadora mecânica	Roçadora costal
		Posterior	Cobertura viva	Capina mecânica
		Vigente	Roçadora mecânica	Roço manual
Durante as chuvas	Dezembro a fevereiro	Seguinte	Grade cultivadora	Capina manual
		Posterior	Manejo de cobertura	Roçadora costal
Final das chuvas		Vigente	Roçacarpa flexível	Capina manual
(arruação)	Março a maio	Seguinte	Trincha de lâminas	Roço manual
		Posterior	Cobertura morta	Capina mecânica
Final das chuvas		Vigente	Capina mecânica	Roçadora costal
(esparramação)	Junho a agosto	Seguinte	Cobertura morta	Roço manual
		Posterior	Trincha de lâmina	Capina manual
Controle integrado das plantas daninhas em formação				
		Vigente	Roçadora mecânica	Roçadora costal
Início das chuvas	Setembro a novembro	Seguinte	Capina mecânica	Capina manual
		Posterior	Cobertura viva	Capina mecânica
		Vigente	Trincha de lâminas	Capina manual
Durante as chuvas	Dezembro a fevereiro	Seguinte	Grade cultivadora	Capina mecânica
		Posterior	Cobertura morta	Roçadora costal
Final das chuvas		Vigente	Roçacarpa flexível	Capina manual
(arruação)	Março a maio	Seguinte	Trincha de lâminas	Roçadora costal
		Posterior	Cobertura morta	Capina mecânica
Final das chuvas		Vigente	Capina mecânica	Roçadora costal
(esparramação)	Junho a agosto	Seguinte	Cobertura morta	Capina manual
		Posterior	Trincha de lâmina	Roço manual

Adaptado de Santos (2000).

Tabela 2.4 Controle integrado das plantas daninhas na cultura da alface no sistema agroecológico em determinado tempo e espaço.

Controle integrado de plantas daninhas em produção de alface (<i>Lactuca sativa</i> L.)				
Época	Período	Ciclo	Controle de plantas daninhas	
			Nas entrelinhas	Nas linhas
Antes do transplante	Um dia	Primeiro	Aração*	Arranquio manual
		Segundo	Aração*	Arranquio manual
No canteiro	Durante o crescimento	Primeiro	Arranquio manual	Capina manual
		Segundo	Arranquio manual	Capina manual
Depois da colheita	Dois dias	Primeiro	Aração*	Capina manual
		Segundo	Aração*	Capina manual

*utilizado um monocultivador

2.6 Manejo de artrópodes indesejáveis

A retirada da vegetação agride diretamente a diversidade de um ecossistema (Nabinger 2007). As intervenções antrópicas interferem na manutenção do equilíbrio em ecossistemas naturais gerando degradação ambiental e alteração das características químicas, físicas e biológicas do solo. A combinação entre ações antrópicas e fatores ambientais determinam quais grupos de organismos vão existir em um ambiente (Amaral 2011). A diminuição da riqueza e densidade de organismos que habitam o solo é resultado de intensas explorações dos recursos naturais, e isso afeta diretamente o equilíbrio das cadeias tróficas na decomposição de material orgânico e a ciclagem de nutrientes (Lima et al. 2003).

Com as alterações causadas ao ambiente natural algumas espécies abandonam o habitat, e com isso aumenta o risco de diversos indivíduos e/ou espécies serem extintas, até que ocorra um novo equilíbrio e algumas espécies se restabeleçam (Thomanzini e Thomanzini 2000). Os agroecossistemas são ambientes naturais, estáveis, onde os componentes da cadeia trófica possuem funções específicas que mantêm o equilíbrio entre as comunidades. Quanto mais diferente de um agroecossistema, quanto mais homogêneo mais susceptíveis as culturas são as pragas, uma vez que essas áreas reduzem a diversidade das espécies e propiciam o desenvolvimento de outras, onde não existe em proporção natural entre alimento e inimigos naturais, isso causado pela oferta de apenas uma fonte de alimento (Henz et al. 2007).

2.6.1 Fauna do Solo: Artrópodes

Com a redução dos sistemas agrícolas, a diversidade dos organismos naturais decai, e isso resulta em desequilíbrio ecológico e altos índices populacionais de pragas (Wilby e Thomas 2002; Wilby et al. 2005). Desse modo, a concepção entre diversidade de espécies de inimigos naturais e a taxa de controle adequada ganha

importância em planejamentos que buscam otimizar estratégias de Manejo Integrado de Pragas (MIP) (Snyder e Ives 2003; Frinke e Denno 2004). Os organismos do solo classificados como artrópodes apresentam cerca de 900 mil espécies já identificadas, mas presume-se que existam por volta desse mesmo número espécies ainda não identificadas (Hickman et al. 2012). São organismos que desempenham papel de grande importância para funcionamento e manutenção do ecossistema (Araújo et al. 2008), pois são participantes importantes e ativos nas cadeias tróficas (Ferreira et al. 2007).

No campo da ciência são organismos bastante empregados na análise de qualidade ambiental, na verificação dos níveis de fragmentação do ecossistema e das intervenções antrópicas (Leivas e Fischer 2008; Amorim et al. 2013; Jordão 2003; Silva et al. 2006; Gomes et al. 2006; Pinheiro et al. 2012), do estágio de restauração de áreas e da recuperação do ambiente através de práticas conservacionistas (Ferreira et al. 2007). Dentre as espécies de artrópodes do solo, a classe Insecta recebe maior destaque, isso devido sua enorme variedade quanto aos hábitos alimentares, nichos ecológicos, diversidade e riqueza de espécies e também por sua contribuição quanto aos aspectos de indicadores de qualidade ambiental (Teixeira et al. 2009).

Os artrópodes são extremamente sensíveis a qualquer mudança no ambiente, sejam alterações na estrutura do solo, no aporte de matéria orgânica, na decomposição dos resíduos assim como também na diversidade de espécies vegetais daninhas (Stinner e House 1990; Giesy et al. 2000; Rodriguez et al. 2001). Embora esses organismos desempenhem importantes funções, muitos podem se tornar pragas quando presentes em grandes quantidades no ambiente, como por exemplo, os colêmbolos. Estes organismos se alimentam de brotos de plantas e de sementes, causam prejuízos, pois destroem os tecidos das plântulas e transmitem patógenos (Amaral e Santos 2015), entretanto, são pequenos artrópodes ricos em nutrientes que contribuem para a manutenção da fertilidade dos solos (Amaral 2011).

A fauna do solo é descrita como indicadora de qualidade ambiental, isso se deve a sua sensibilidade as modificações sofridas no meio, uma vez que respondem rapidamente ao conteúdo de matéria orgânica e as propriedades físicas do solo (Reichert et al. 2003; Candido et al. 2012), assim como apresentam ampla distribuição geográfica (Noss 1990; Paoletti e Bressan 1996; Badji et al. 2004). Dessa fauna do solo, os artrópodes são considerados bons indicadores de qualidade ambiental, isso se deve a sua elevada importância nos processos biológicos de manutenção do ecossistema. Por isso, o nível de antropização sofrido no ecossistema regula o número de ordens, famílias e espécies presentes no ambiente (Thomanzini e Thomanzini 2002).

2.6.2 Manejo Integrado de Pragas

A mudança de ecossistemas naturais para fins agrícolas forma um ambiente artificial, que necessita de constantes intervenções antrópicas para manter esse sistema produtivo, uma vez que a sua sustentabilidade se torna comprometido sem auxílio humano (Altieri et al. 2003). Contudo, a transformação dessas áreas em ambientes agrícolas e posterior substituição dos serviços ambientais de alguns organismos como os artrópodes, por exemplo, gera desequilíbrio ao ambiente que por consequência dessas alterações contribuem para o surgimento de pragas, em virtude de condições ideais para seu estabelecimento, como a baixa ocorrência de inimigos naturais (Rodrigues et al. 2013).

Acredita-se que as consequências da redução da diversidade são mais acentuadas no âmbito do manejo de pragas, em virtude da utilização de defensivos agroquímicos que são empregados para controlar os organismos praga, além disso, pode-se mencionar a agressão ao ecossistema bem como a saúde dos produtores que fazem uso desses produtos, e futuramente essas ações pode causar redução no número de populações de inimigos naturais e gerar linhagens de organismos mais resistentes (Altieri 1994; Hajek 2004). Até pouco tempo existia conceitos bem

definidos a respeito de pragas (artrópodes, insetos e ácaros), doenças (bactérias, vírus, fungos e nematóides) e plantas espontâneas ou daninhas. Porém, nas condições atuais, o conceito de “praga” é atribuído para designar qualquer organismo vivo (podendo ser insetos, vírus, bactérias, nematóides, plantas daninhas), que em determinadas condições se apresentam com números elevados de indivíduos e que de maneira direta ou indireta causem perdas econômicas para uma cultura agrônômica (Henz et al. 2007). Os insetos ditos como pragas destacam-se como causadores de prejuízos econômicos, que podem estar associados desde a fase de germinação das sementes até a fase de colheita, podendo chegar a uma queda na produção que varia entre 15 a 30% dependendo da cultura (Martins et al. 2009). Segundo New (2002), esses prejuízos podem ser causados também na fase de pré-colheita, com danos físicos (injurias, manchas) ou fisiológicos (nutricional e transmissão de doenças), no processamento, armazenamento e transporte da cultura (Silva 2013). Nos últimos anos, com a mudança no controle de pragas que passou a ser feita baseada no poder residual dos produtos, mesmo que a praga não estivesse presente e nem atingido um nível de perdas para a produção, as consequências dessas aplicações começaram a surgir e de forma bastante severas (Gallo et al. 2002). Ainda segundo esses autores, surgiu um novo conceito sobre controle de pragas, denominado de Controle Integrado, e que posteriormente passou a ser classificado como Manejo Integrado de Pragas (MIP), que visa o controle de insetos pragas potenciais (insetos, patógenos, nematóides e plantas daninhas), baseados na ecologia e que envolve qualquer problema que restrinja a produção agrícola, decorrente da competição interespecífica, como resposta ao uso abusivo de produtos agroquímicos. O Manejo Integrado de Pragas é formado por um conjunto de técnicas que objetiva a preservação e o aumento da mortalidade natural das pragas utilizando métodos de controle selecionados obedecendo critérios técnicos, ecológicos, econômicos e sociais. Segundo Picanço (2010), dentre as técnicas mais adotadas no Manejo Integrado de Pragas pode-se citar:

- 1) **Resistência:** uso de plantas com genética selecionada que sofram menos danos por pragas;
- 2) **Métodos Legislativos:** leis e portarias que normatizam medidas de controle sanitário e quarentena;
- 3) **Método genético:** esterilização híbrida das espécies;
- 4) **Controle Biológico:** emprego de inimigos naturais para controle de população;
- 5) **Controle Químico:** uso de substâncias químicas que causam morte dos indivíduos praga;
- 6) **Por Comportamento:** uso de hormônios, repelentes, feromônios e machos estéreis que reduzam a população ou danos;
- 7) **Mecânico:** técnicas de captura e/ou esmagamento que possibilite o controle de pragas;
- 8) **Físico:** utilização de fogo, inundação, drenagem, temperatura e radiação eletromagnética;
- 9) **Culturais:** práticas agrícolas como cultivo de plantas, rotação de culturas, consórcio de culturas.

Apesar disso, existem outras medidas que podem ser adotadas para aumentar a ocorrência de inimigos naturais em agroecossistemas, como técnicas de manejo do solo conservacionistas ou consórcio de culturas, essas práticas são consideradas de grande importância quando o objetivo é aumentar a diversidade desses organismos (Stimer e House 1990; Altieri et al. 1990). Rodrigues et al. (2013), também mencionam uma forma de aumentar a diversidade em agroecossistemas, através de práticas como rotação de culturas e adoção de sistemas agroflorestais. Esses sistemas beneficiam os serviços ambientais dos artrópodes favorecendo o aumento de material orgânico no solo promovendo assim uma maior diversidade de inimigos naturais.

O MIP sugere incorporar como forma de controle a interação entre o uso de produtos químicos e o biológico através da liberação de inimigos naturais que fazem o controle desses organismos praga (Fauvel e Atger 1981). Uma das estratégias encontradas em Manejo Integrado de Pragas é a utilização de espécies de patógenos, ou entomopatógenos, presentes no próprio ambiente. Alguns organismos que vem ganhando destaque no controle de mosquitos e lepidópteros é a bactéria da espécie *Bacillus thuringiensis* (Fritz et al. 2008). Quanto aos agentes biológicos, alguns ácaros de hábito predador também podem ser empregados na regulação de populações de ácaros fitófagos (Moraes 2002), e de insetos a exemplo da mosca-branca e trips (Ali 1998), que são comercializados para controle biológico de diversas culturas (Moraes 2002). Outra técnica que também pode ser empregada é o uso de

plantas bioativas, uma técnica antiga (Roel et al. 2000; Gallo et al. 2002), e que está ganhando espaço através de conhecimento popular de agricultores tradicionais que utilizam essas plantas como uma alternativa ao uso de produtos agroquímicos (Lovatto et al. 2013). Plantas bioativas são espécies vegetais que apresentam em seu mecanismo alguma ação direta sobre outros seres vivos e que seu efeito pode se manifestar tanto em sua presença no ambiente como pela utilização de alguma substância extraída, isso sob o conhecimento humano e ação dos efeitos provocados (Schiedeck 2008).

A interação entre planta-inseto ocorre através de compostos químicos que geram atração, estímulo à alimentação e também repelência entre planta-inseto, onde esse processo pode ser contínuo estando relacionado a evolução de ambos indivíduos (Lovatto et al. 2012). Ainda segundo Lovatto (2012), plantas bioativas eram empregadas com sucesso em seus resultados antes do surgimento dos produtos agroquímicos. Contudo, hoje com a crescente necessidade de alimentos livre de agroquímicos e de práticas agrícolas que reduzam os impactos causados ao ambiente, a utilização de plantas bioativas ganha novamente espaço e ressurgem como uma alternativa de manejar insetos e doenças nos plantios agrícolas e também como forma de valorizar o conhecimento popular (Moreira et al. 2005). Desse modo, plantas bioativas apresentam diversas vantagens em comparação com os produtos agroquímicos, uma vez que as plantas são recursos renováveis e de fácil acesso e cultivo, não agridem o meio ambiente e os alimentos com substâncias químicas, mantém o equilíbrio do ecossistema bem como não causam resistência nos insetos além de serem obtidos com baixo custo (Roel 2001; Lovatto 2012). Segundo Picanço (2010), para colocar em prática o MIP, deve-se observar alguns componentes no ambiente que são:

- 1) A diagnose ou avaliação do agroecossistema que consiste na identificação de forma simples e correta das pragas e seus inimigos naturais;
- 2) A tomada de decisão que opta ou não por usar métodos artificiais de controle (químico, biológico aplicado ou comportamental);
- 3) A seleção dos métodos de controle com base em parâmetros técnicos (eficácia), econômicos (maior lucro), ecotoxicológicos (preservação do ambiente e da saúde humana) e sociológicos (adaptáveis ao usuário).

No que diz respeito aos tipos de pragas o MIP classifica o sistema de acordo com o local de ataque, que segundo Picanço (2010), estas pragas se manifestam em diferentes locais da planta, podendo ser:

- 1) De acordo com a parte da planta atacada podendo ser de forma direta (se o ataque é direto na parte comercializada da espécie) ou indireta (se afeta indiretamente a parte da planta que é comercializada).
- 2) De acordo com sua importância: Onde temos os organismos não-praga (organismos onde sua densidade populacional nunca atinge o nível de controle), as pragas ocasionais (organismos que raramente atingem o nível de controle. Também conhecidos como pragas secundárias) e as pragas chaves (organismos que frequentemente ou sempre atingem o nível de controle e constitui o ponto chave no estabelecimento de sistema de manejo das pragas. São poucas as espécies que se encaixam nesta categoria nos agroecossistemas, em muitas culturas só ocorre uma praga chave).

Com a redução de ambientes naturais e o crescimento de áreas de monoculturas, favorece o surgimento de pragas e doenças, e que conseqüentemente aumenta a necessidade de técnicas de controle (Gassen 1984; Altieri et al. 2003). Com isso, é notável a necessidade de desenvolver técnicas que se adequem e que possam contornar e/ou resolver os problemas gerados no processo produtivo sem comprometer futuramente os recursos naturais (Gliessman 2000).

2.7 Fazendo a agricultura sustentável a “nova agricultura convencional”

Neste tópico abordaremos temas relacionados ao uso de tecnologias que prometem alterar práticas de produção da agricultura em vias que, se adotadas, podem tornar a agricultura convencional benigna para o ecossistema. Também apresentamos questões econômicas que devem ser tomadas com o objetivo de tornar a agricultura sustentável a nova agricultura convencional. Embora, o uso de tecnologia e rentabilidade permaneçam como pré-requisitos necessários para a adoção de novas práticas agrícolas, uma série de outros fatores culturais e sociais também podem intervir e afetar a tomada de decisões sobre o uso e manejo do solo. Neste tópico, estendemos a discussão incluindo considerações ideológicas e sociais que poderão inibir ou facilitar a transição entre sistemas de agricultura convencional e sistemas de agricultura sustentáveis.

Atualmente, uma série de fatores (i.e. tecnológico, ambiental, econômico, ideológico e social) que constituem um ambiente agrícola convergem para a mudança da agricultura moderna para a agricultura sustentável e novos questionamentos surgem sobre a direção e futuro da agricultura convencional e das partes envolvidas neste processo. Neste tópico, nós apresentamos de forma breve e objetiva uma revisão sobre sistemas agrícolas com o intuito de ilustrar três aspectos básicos relacionados a agricultura convencional e a agricultura sustentável. Primeiro, a contínua natureza de mudança e a falta de sustentabilidade dos sistemas de agricultura convencional originados a partir da revolução verde³⁰; segundo, o caráter exploratório inerente de sistemas de agricultura convencionais sobre o ambiente; e por fim, a complexidade de ecossistemas em um único planeta com dimensões finitas, recursos limitados e uma crescente população para alimentar.

Após a leitura deste material esperamos que o leitor seja capaz de compreender que é necessário examinar as mudanças que estão ocorrendo no ecossistema solo usando ambas perspectivas econômica e social. Usando a perspectiva econômica podemos observar em larga escala como o uso da tecnologia está relacionado com os contextos ideológicos e sociais de determinada região e/ou sistema agrícola. A incapacidade de reconhecer esta relação entre a perspectiva econômica e o contexto social pode levar a diversos impactos negativos ao ecossistema, e sobretudo, as comunidades rurais. Porém, o conhecimento da perspectiva econômica nos levará a três temas paradigmáticos da agricultura (subsistência, comercial e sustentável) que podem auxiliar a impulsionar a agricultura atual em novas direções. Embora reconhecendo que as tendências externas de mercado e a estrutura interna da propriedade rural definem parâmetros importantes para a tomada de uma ação ou adoção de determinado sistema agrícola, a perspectiva social reconhece que a mudança no uso da terra em nossos sistemas agrícolas atuais é resultado de decisões individuais de produtores. Por fim, com base em ambas perspectivas discutimos pré-requisitos necessários para acelerar a tomada da agricultura sustentável como “a nova agricultura convencional”.

2.7.1 Perspectiva história da agricultura convencional

A maior parte da história humana é na verdade uma crônica sobre as atividades agrícolas. Ao longo do tempo e mesmo atualmente, a maior parte dos habitantes do mundo tem sido caracterizados como agricultores (FAO 2017). Apenas nos séculos passados os alimentos foram produzidos em quantidades suficientes e com

³⁰ Refere-se à invenção e disseminação de novas sementes e práticas agrícolas que permitiram um vasto aumento na produção agrícola a partir da década de 1950 nos Estados Unidos e na Europa e, nas décadas seguintes, em outros países;

rentabilidade satisfatória para atender as demandas mundiais, permitindo assim que uma porção significativa da população estivesse livre para procurar outras empreendimentos e/ou atividades (Harris e Gosden 1996; Allaby et al. 2008). Ao redor do mundo, muitos sistemas agrícolas surgiram, prosperaram e então desapareceram seguindo o mesmo curso histórico da civilização ao qual um determinado sistemas agrícola estava associado (i.e., sistemas agrícolas da civilização Maia) (Morgan 2013). Embora as mudanças e transições sejam consideradas características inevitáveis, necessárias e desejáveis para qualquer sistema sustentável, estes processos precisam ocorrer de forma gradual e não de forma excessivamente perturbadora. (Harris e Gosden 1996). Pois, quando se observar uma das seguintes situações:

- (1) Para a manutenção da produtividade agrícola em níveis de subsistência é necessária a aplicação de tecnologia totalmente nova;
- (2) Quando a degradação do ecossistema solo é tanta que provoca o abandono de uma área uma vez produtiva para outra nova área de cultivo.

Podemos então concluir que o sistema agrícola empregado não está servindo adequadamente para a manutenção da qualidade do solo e da sustentabilidade agrícola. Em um contexto histórico (séculos atrás) havia uma população relativamente pequena no mundo e um território prontamente abundante e vasto onde sistemas nômades e transitórios eram acomodados com consequências mínimas ao ambiente (Gerritsen 2008; Adair 1988). No entanto, o potencial de consequências ambientais adversas cresceu à medida que as sociedades evoluíram, ocupando novos ambientes (i.e., zonas semiáridas) e extensas áreas sem nenhuma estratégia de manejo ou conservação do solo e da água (Allaby et al. 2008; Hatfield e Karlen 1994).

Há um amplo histórico sobre onde um sistema produtivo e aparentemente “sustentável” entrou em colapso e sucumbiu à erosão e depleção devido suas frágeis e/ou adversas características edáficas e climáticas (i.e., Sistemas agrícolas empregado entre os rios Tigre e Eufrates, na região do Sub-Sahara na África, grandes áreas agrícolas no Sudoeste do Colorado nos EUA e os perímetros irrigados localizados no sertão paraibano brasileiro) (Mascarelli 2010; Kees 1961; Harris e Gosden 1996; de Souza et al. 2016). Estes tipos de situações catastróficas tendem a surgir cada vez mais e mais ao redor do mundo e resultados científicos tem provado a sensibilidade dos sistemas ecológicos e do solo as atividades antrópicas como a agricultura convencional (Hatfield e Karlen 1994). Neste sentido, observamos que a agricultura convencional é uma das responsáveis pela degradação de recursos naturais e por criar sérios problemas ecológicos e ambientais, sendo caracterizada inerentemente perturbadora dos processos naturais (Beus e Dunlap 1990).

Atualmente, a população mundial enfrenta um vasto número de dilemas ecológicos e ambientais (de Souza e Freitas 2017). O crescimento da população mundial e os padrões de consumo da sociedade moderna estão pressionando significativamente as reservas dos recursos naturais como nunca antes. Informações sobre a degradação do solo e da água e o aumento do consumo das reservas limitadas dos combustíveis fósseis estão se tornando muito bem documentadas (FAO 2017). Ambos o solo quanto a água tem sua qualidade reduzida devido uso intensivo de práticas relacionadas com a agricultura convencional e dos resíduos provenientes destas. Ressaltamos que a agricultura convencional é caracterizada pelo monocultivo, pelas perdas erosão por eólica e hídrica, mecanização pesada, altamente dependente de agroquímicos, intensos problemas com compactação do solo, perdas da matéria orgânica e alteração do ecossistema solo (Beus e Dunlap 1990). A agricultura convencional é também altamente dependente de energia (i.e., uso de maquinaria moderna, transporte de produtos a longas distâncias e dependência de fertilizantes e pesticidas formulados a partir de petroquímicos) (Hatfield e Karlen 1994). Com base nesse breve histórico fica evidente a necessidade de meios de transição da agricultura convencional para uma agricultura sustentável com sistemas de manejo bem definidos e robustos.

2.8 Referências

Adair MJ (1988) Prehistoric Agriculture in the Central Plains. Publications in Anthropology 16. University of Kansas, Lawrence.

Albuquerque JA, Reinert DJ, Fiorin JE, Ruedell J, Petrere C, Fontinelli F (1995) Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. R. Bras. Ci. Solo 19:115-119.

Ali FS (1998) Life tables of *Phytoseiulus macropilis* (Banks) (Gamasida: Phytoseiidae) at different temperatures. Experimental Applied Acarology 22: 335-342.

Allaby RG, Fuller DQ, Brown TA (2008) The genetic expectations of a protracted model for the origins of domesticated crops. Proceedings of the National Academy of Sciences 105(37): 13982 – 13986. doi:10.1073/pnas.0803780105

Altieri M (2004) Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável - 4.ed. - Porto Alegre: Editora da UFRGS.

Altieri MA (1994) Biodiversity and pest management in agroecosystems. New York: Food Products Press.

Altieri MA, Glaser DL, Schmidt LL (1990) Diversification of agroecosystems for insect pest regulation: experiments with collards. In: Gliessman SR (Ed.) Agroecology, researching the ecological basis for sustainable agriculture. New York: Springer-Verlag.

Altieri MA, Silva NE, Nicholls CI (2003) O papel da biodiversidade no manejo de pragas. Ribeirão Preto: Editora Holos.

Alvarenga MIN, Paula MB (2000) Planejamento conservacionista em microbacias. Informe Agropecuário 21: 55-64.

Amaral AA (2011) Fundamentos de agroecologia. Curitiba: Livro Técnico.

Amaral AA, Santos GM (2015) Artrópodes do solo em áreas antrópicas com diferentes coberturas vegetais. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA 11(22): 62-71.

Amorim IA (2013) Levantamento de artrópodes da superfície do solo e área de pastagem no assentamento alegria, Marabá – PA. Agroecosistemas 5(1): 62-67.

Araújo SDM et al. (2008) Levantamento preliminar da entomofauna no centro de estudos da natureza da universidade do Vale do Paraíba, São José dos Campos, SP. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica.

Araújo SMS (2012) Tempo, Espaço e Biogeografia. In: Rodrigues AF, Silva E, Aguiar JO. Natureza e Cultura nos Domínios de Clio: História, Meio Ambiente e Questões Étnicas. EDUEFCG.

ASA (2017). <http://www.asabrasil.org.br/acoes/p1-2>

Assis RL (2006) Desenvolvimento rural sustentável no Brasil: perspectivas a partir da integração de ações públicas e privadas com base na agroecologia. Parte da tese de doutorado do autor em Economia Aplicada – área de concentração em Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente (Universidade Estadual de Campinas).

Banco do Nordeste (1999) Orientação à agricultura irrigada no Nordeste. Fortaleza, Frutex.

Bellinger PF, Christiansen KA, Janssens F (2013). Checklist of the Collembola of the World. Disponível em: <http://www.collembola.org.htm>. Acesso em: 28 abr. 2013.

Bertolini D, Lombardi Neto F (1993) Manual técnico de manejo e conservação de solo e água: tecnologias disponíveis para controlar o escoamento superficial do solo. Campinas: CATI 4: 1-65.

Beus C, Dunlap R (1990) Conventional versus alternative agriculture: the paradigmatic roots of the debate. *Rural Sociol.* 55:590.

Brady NC, Weil RR (2013) *Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos*. Bookman, Porto Alegre.

BRASI (2005) Ministério da Integração Nacional. Nova delimitação do Semiárido brasileiro. Brasília, DF.

Brookes PC (1995) The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. *Biol. Fert. Soils*, 19:269-279.

Bueno VHP (2009) *Controle de pragas: produção massal e controle de qualidade*. Editora UFLA, Lavras

Cândido AKA, Silva NM, Barbosa DS, Farias LN, Souza WP (2012) Fauna edáfica como bioindicadores de qualidade ambiental na nascente do rio São Lourenço, Campo Verde - MT, Brasil. *Engenharia Ambiental* 9(1): 67-82.

Cardoso IM (2008) O solo vive. In: *Manejo sadio dos solos*. *Agriculturas* 5(3).

Carvalho LB (2013) *Plantas Daninhas*. Editado pelo autor, Lages-SC.

Castaldo ED, Focellini FA, Weiss A, Back N (1998) Picador de cobertura vegetais, uma alternativa viável para o manejo mecânico em pequenas propriedades rurais. In: *Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, 27*. Poços de Caldas, MG. Anais... Poços de Caldas, MG: SBEA.

Chistoffoleti PJ, López-Ovejero RF (2008) Resistência das plantas daninhas a herbicidas: definições, bases e situação no Brasil e no mundo. In: *Christoffoleti PJ (Coord) Aspectos de resistência de plantas daninhas a herbicidas*. 3rd edn. HRAC-BR, Campinas.

Christofidis D (1997) A água e a crise alimentar. www.iica.org.br/Aguatrab/Demetrios%20Christofidis/P2TB01.htm.

Curi N (1993) *Vocabulário de ciência do solo*. Campinas: SBCS.

de Souza TAF, et al. (2016) Arbuscular mycorrhizal fungi in *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir from Brazilian semi-arid. *Braz J Microbiol.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2016.01.023>

de Souza TAF, Freitas H (2017) Arbuscular mycorrhizal fungi Community assembly in the Brazilian tropical seasonal dry forest. *Ecological Processes*. Doi: 10.1186/s13717-017-0072-x.

Deuber R (1992) *Ciência das plantas daninhas: fundamentos*. FUNEP, Jaboticabal

Embrapa (2003) *Plantas Daninhas*. https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/Fontes_HTML/Mandioca/mandioca_tabcosteiros/plantadaninhas.htm. Acessado em 10 de abril de 2017

Fancelli AL (1987) *Plantio Direto*. Departamento de Agricultura/ESALQ/USP, Piracicaba.

FAO (2017) FAOSTAT (database), Food and Agriculture Organization, Rome, <http://faostat.fao.org/>.

Fauvel G, Atger P (1981) Etude de l'évolution des insectes auxiliaires et de leurs relation avec le psille du poirier (*Psylla pyri* L.) et l'acarion rouge (*Panonychus ulmi* Koch) dans deux vergers du Sud-Est de la France en 1979. *Agronomie* 1: 813- 820.

Fernandes MF, Barreto AC, Emídio Filho J (1999) Fitomassa de adubos verdes e controle de plantas daninhas em diferentes densidades populacionais de leguminosas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34(9), 1593-1600.

Ferreira NA et al. (2007) Diversidade, riqueza e abundância de artrópodes em uma área de mata urbana. Anais... do VIII Congresso de Ecologia do Brasil.

Franchini JC, Costa JM, Debiasi H, Torres E (2011) Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná. Londrina: Embrapa Soja.

Fritz LL, Heinrich EA, Pandolfo M, Salles SM, Oliveira JV, Fiuza LM (2008) Agroecossistemas orizícolas irrigados: insetos-Praga, Inimigos Naturais e Manejo Integrado. *Oecol.* 12(4): 720-732.

G1 (2017) Desertificação no estado da Paraíba. Disponível em: <http://g1.globo.com/pb/paraiba/noticia/2017/04/desertificacao-ameaca-94-das-terras-na-paraiba-e-e-irreversivel-diz-insa.html>

Gallo D. et al. (2002) Entomologia agrícola. Piracicaba: FEALQ.

Gassen DN (1984) Insetos associados à cultura do trigo no Brasil. Passo Fundo: EMBRAPA CNPT.

Gerard CJ, Sexton P, Shaw G (1972) Physical factors influencing soil strength and root growth. *Agron. J.*, Madison, 74:875-879.

Gerritsen R (2008) Australia and the Origins of Agriculture. *Archaeopress* 29–30.

Gheyi HR, Paz VPS, Medeiros SS, Galvão CO (2012). Recursos Hídricos em Regiões Semiáridas: Estudos e Aplicações. 1. ed. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido.

Giesy JP, Dobson S, Solomon KR (2000) Ecotoxicological risk assessment for roundup herbicide. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 167: 35-120.

Gliessman SR (2000) Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS.

Gomes JP et al. (2006) Levantamento da entomofauna em agroecossistemas da zona da Mara de Pernambuco, com ênfase em Formicidae (Hymenoptera).

Guterres I (2006) Agroecologia Militante: Contribuições de Ênio Guterres. 1. ed. São Paulo: Expressão Popular.

Hajek AE (2004) Conservations and Enhancement of Natural Enemies. In: Department of entomology cornell University. *Natural Enemies: an introduction to biological control.* New York: Cambridge University Press.

Harris DR e Gosden C (1996) *The Origins and Spread of Agriculture and Pastoralism in Eurasia: Crops, Fields, Flocks and Herds.* Routledge.

Hatfield JL, Karlen DL (1994) *Sustainable Agriculture Systems.* CRC Press, Florida.

Henz GP, Alacântara FA, Resende FV (2007) Produção orgânica de hortaliças: o produtor pergunta, a EMBRAPA responde. Coleção 500 perguntas, 500 respostas. Brasília, DF. EMBRAPA Informação Tecnológica.

Hernani LC, Kurihara CH, Silva WM (1999) Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. *R. Bras. Ci. Solo* 23: 145-154.

Hickman CP et al. (2012) *Princípios integrados de Zoologia.* 11ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan.

INSA (2016) <http://www.insa.gov.br/noticias/inovacoes-tecnologicas-sao-essenciais-para-fortalecer-a-agricultura-familiar-no-semiarido/#.WOWOz4grLIU>

Jacomine PTK (1996) Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: Alvarez VH, Fontes LEF, Fontes MPF. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado.* Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Federal de Viçosa.

Jordão FS (2003) Levantamento da fauna de invertebrados da Gruta dos Ecos (GO) durante a estação chuvosa: dados preliminares para elaboração do plano de manejo espeleológico (PME). *Anais...XXVII Congresso Brasileiro de Espeleologia.*

Kees H (1961). *Ancient Egypt: A Cultural Topography*. University of Chicago Press.

Kill LHP e Correia RC (2005) A região semiárida brasileira. In: Kill LHP e Menezes EA. *Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o semiárido brasileiro*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.

Koifman S, Hatagima A (2003) Agrotóxicos e câncer no Brasil, In: *È veneno ou é remédio?* Peres FC, Moreira J (Eds.). Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro.

Leivas FWT, Fischer ML (2008) Avaliação da composição de invertebrados terrestres em uma área rural localizada no município de Campina Grande do Sul, Paraná, Brasil. *Biotemas* 1: 65-73.

Lepsch IF (1991) Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. 4 aprox., Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

Lima AA, Lima WL, Berbara RLL (2003) Diversidade da mesofauna de solo em sistemas de produção agroecológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 1. Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: EMATER/ RS-ASCAR.

Lorenzi H (2006) Manual de identificação e controle de plantas daninhas: plantio direto e convencional. Instituto Plantarum, Nova Odessa-SP.

Loss A, Pereira MG, Schultz N, Anjos LHC, Silva EMR (2009) Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44: 68-75.

Lovatto PB, Schiedeck G, Garcia FRM (2012) Interação co-evolutiva entre insetos e plantas como estratégia ao manejo agroecológico em agroecossistemas sustentáveis. *Revista Inter-ciência* 37(9): 657-663.

Lovatto PB, Schiedeck G, Mauch CR (2013) Extratos aquosos de *Tagetes minuta* (Asteraceae) como alternativa ao manejo agro-ecológico de afídeos em hortaliças. *Revista Inter-ciência* 38(9): 676-680.

Maia Neto RF (1997). Água para o desenvolvimento sustentável. *A Água em Revista* 9:21-32.

Martins JFS, Barrigossi JAF, Oliveira JV, Cunha US (2009) Situação do manejo integrado de insetos-praga na cultura do arroz no Brasil. Documentos, 290. Pelotas, Embrapa Clima Temperado.

Mascarelli A (2010) Mayans converted wetlands to farmland. *Nature*. doi:10.1038/news.2010.587

MI (2006) http://www.mi.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=0aa2b9b5-aa4d-4b55-a6e1-82faf0762763&groupId=24915

Moraes GJ (2002) Controle biológico de ácaros fitófagos com predadores. In: Parra JRP, Botelho PSM, Corrêa Ferreira BS, Bento JMS (Ed.) *Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores*. São Paulo: Manole.

Moreira MD, Picanço MC, Silva EM, Moreno SC, Martins JC (2005) Uso de inseticidas botânicos no controle de pragas. In: *Controle alternativo de pragas e doenças*. Viçosa: Epamig/CTZM.

Moreira PR (2004) Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, poços de caldas, MG. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo.

Morgan J (2013) Invisible Artifacts: Uncovering Secrets of Ancient Maya Agriculture with Modern Soil Science. *Soil Horizons* 53 (6): 3. doi:10.2136/sh2012-53-6-lf.

Nabinger C (2007) Potencialidades do Bioma Pampa. In: NAT BRASIL. *O Pampa em disputa: a biodiversidade ameaçada pela expansão das monoculturas de árvores*. Porto Alegre: Núcleo Amigos da Terra Brasil.

New TR (2002) *Insects and pest management in Australian agriculture*. Austrália: Oxford University Press.

Noss RF (1990) Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conserv. Biol.* 4: 355-364.

- Oliveira Jr. RS, Constanti J, Inque MH (2011) *Biologia e manejo de plantas daninhas*. Omnipax, Curitiba
- Oliveira RL (2015) Contribuição da agroecologia para o desenvolvimento rural sustentável: a experiência da COASP no território do Vale da Paraíba, UFPB Campus de Bananeiras-PB, PRONERA.
- Pacheco LP, Pires FR, Monteiro FP, Procópio SO, Assis RL, Cargnelutti Filho A, Carmo ML, Petter FA (2009) Sobres semeadura da soja como técnica para supressão da emergência de plantas daninhas. *Planta daninha*. Doi: 10.1590/S0100-83582009000300005
- PAD (2014) <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2014/11/encontro-reune-nove-estados-do-programa-agua-doce/pad.jpg/view>
- Paoletti MG, Bressan M (1996) Soil invertebrates as bioindicators of human disturbance. *Crit. Rev. Plant Sci.* 15: 21-62.
- Picanço MC (2010) Apostila de manejo integrado de pragas. In: Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Biologia Animal. 2010.
- Pinheiro ARF, et al. (2012) Levantamento preliminar da entomofauna associada à cultura da bananeira com manejo agroecológico no Vale do Açu, RN. IX Congresso de Iniciação Científica do IFRN.
- Portal Brasil (2016). <http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2016/11/governo-inaugura-sistema-de-dessalinizacao-de-agua-em-amparo-pb>
- Primavesi A (2008) Agroecologia e manejo do solo. In: *Manejo sadio dos solos*. Agriculturas.
- Radio Senado (2016) <http://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2016-podera-ser-decisivo-para-a-conclusao-das-obras-de-transposicao-do-sao-francisco>
- Ramalho Filho A, Beek KJ (1995) *Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras*. 3. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ.
- Reichert JM, Reinert DJ, Braida JÁ (2003) Qualidade do solo e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência e Ambiente* 27: 29-48.
- Reis RP (2007) *Fundamentos de economia aplicada*. Lavras: UFLA/FAEPE.
- Resende M, Curi N, Rezende SB, Correa GF (1999) *Pedologia: base para distinção de ambientes*. 3 ed. Viçosa: NEPUT.
- Rocha WF (2009) Situação da cobertura vegetal do bioma Caatinga. In: Angelotti F, Sá IB, Menezes EA, Pellegrino GQ. *Mudanças climáticas e desertificação no Semiárido brasileiro*. Petrolina: Embrapa Semiárido; Campinas: Embrapa Informática Agropecuária.
- Rodal MJN, Sampaio EVSB (2002) A vegetação do bioma caatinga. In: Sampaio EVSB, Giulietti AM, Virgínio J, Gamarra Rojas CFL (Ed.). *Vegetação e flora da Caatinga*. Recife: APNE.
- Rodrigues DM, Silva MM, Almeida LS, Souza JTR, Yared JAG, Santana AC (2013) Agrobiodiversidade e os serviços ambientais: perspectivas para o manejo ecológico dos agroecossistemas no estado do Pará. *Agroecossistemas* 4(1): 12-32.
- Rodriguez E, Fernandez-Anero FJ, Ruiz P, Campos M (2001) Soil arthropod abundance under conventional and no tillage in a Mediterranean climate. *Soil Tillage Res.* 85: 229-233.
- Roel AR (2001) Utilização de plantas com propriedades inseticidas: uma contribuição para o Desenvolvimento Rural Sustentável. *Revista Internacional de desenvolvimento Local* 1(2): 43-50.
- Roel AR, Vendramim JD, Frighetto RTS, Frighetto N (2000) Efeito do extrato acetato de etila de *Trichilia pallida* Swartz (Meliaceae) no desenvolvimento e sobrevivência da lagarta-do-cartucho. *Bragantia* 59(1): 53-58.

Romeiro AR (1996) Agricultura sustentável, tecnologia e desenvolvimento rural. *Agricultura Sustentável*. Jaguariúna 3(1/2): 34-42.

Ruedell J (1998) A soja numa agricultura sustentável. In: Silva MTB (Coord.) *A soja em rotação de culturas no plantio direto*. Cruz Alta. RS: FUNDACEP-FECOTRIGO.

Schiedeck G (2008) Aproveitamento de Plantas Bioativas: Estratégia e Alternativa para a Agricultura Familiar. *Revista Cultivar*. Embrapa Clima Temperado.

Silva AA, Silva JF (2007) Tópicos em manejo de plantas daninhas. UFV, Viçosa.

Silva AA, Silva JF, Ferreira FA, Ferreira LR, Silva JF, Oliveira Júnior RS, Vargas L (1999) Controle de plantas daninhas. Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, Viçosa-MG.

Silva CAR (2013) Efeito do cultivo consorciado na produtividade do repolho, viabilidade econômica do sistema e manejo de pragas. 113p. Dissertação (Mestrado em Agronomia e Medicina Veterinária). Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina veterinária.

Silva LO, et al. (2006) Levantamento da entomofauna em agroecossistemas da zona da Mata de Pernambuco, com ênfase em Coleoptera.

Snyder WE, Ives AR (2003) Interactions between specialist and generalist natural enemies: parasitoids, predators, and pea aphid biocontrol. *Ecology* 84: 91–107.

Souza ER, Fernandes MR (2000) Sub-bacias hidrográficas: unidades básicas para o planejamento e a gestão sustentáveis das atividades rurais. *Informe Agropecuário* 21(207):15-20.

Stinner BR, House GJ (1990) Arthropods and other invertebrates in conservation tillage agriculture. *Ann. Rev. Entomol.* 35: 299-318.

Teixeira CCL, et al. (2009) Comunidade de Coleoptera de solo em remanescente de Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Biota Neotropica* 9(4).

Thomanzini MJ, Thomanzini APBW (2000) A fragmentação florestal e a diversidade de insetos nas florestas tropicais úmidas. Rio Branco: EMBRAPA Acre.

Thomanzini MJ, Thomanzini APBW (2002) Levantamento de insetos e análise entomofaunística em floresta, capoeira e pastagem no Sudeste Acreano. Rio Branco: EMBRAPA Acre.

Thurston DH (1992) Sustainable practices for plant disease management intraditional farming systems. Boulder: Westview Press.

Vandermeer J (1989) *The Ecology of Intercropping*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.

Wezel A, Soldat V (2009) A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline agroecology. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7 (1): 3-18

Wilby A, Thomas MB (2002) Natural Enemy diversity and pest control: patterns of pest emergence with agricultural intensification. *Ecology Letters* 5: 353-360.

Wilby A, Villareal SC, Pan LP, Heong KL, Thomas MB (2005) Functional benefits of predator species diversity depend on prey identity. *Ecological Entomology* 30: 497-501.

Capítulo 3

A AGROECOLOGIA E A AGRICULTURA FAMILIAR NO SEMIÁRIDO

Begna Janine da Silva Lima

Fernando José da Silva

Samuel Inocêncio Alves da Silva

Ailson de Lima Marques

Edjane Oliveira de Lucena

Alexandre José da Silva

Djail Santos

Tancredo Augusto Feitosa de Souza

3.1 Introdução a Agroecologia

A agricultura sempre foi objeto de estudo na busca por melhorias nas práticas utilizadas, implicando em um processo histórico de acúmulo de conhecimentos onde a tecnologia agrícola se modernizou (Assis 2005), despertando inquietações relacionadas à intensificação das práticas agrícolas adotadas visando maiores produtividades. Ao final da 1ª Guerra Mundial surgiam na Europa, preocupações com a qualidade dos alimentos que eram consumidos pela população. Na Inglaterra, surgiam os primeiros movimentos de agricultura orgânica, na Áustria, a agricultura biodinâmica e em 1940, no livro intitulado “Look to the Land” escrito pelo inglês Lord Northbourne, foi utilizada a expressão agricultura biológica, a qual dá origem as técnicas agroecológicas (Naime 2015). No livro “Um testamento agrícola”, elaborado por um antigo conselheiro agrícola das Índias, na época da colônia inglesa, “Sir” Albert Howard, apresenta um sistema de produção agropecuário que não emprega produtos químicos sintéticos. Assim, confirma-se que o histórico das buscas de compatibilização entre as atividades agrícolas e o meio ambiente buscando ecossistemas mais equilibrados, é bastante antigo e tradicional (Naime 2015).

No Brasil, desde o período colonial são observados problemas ambientais relacionados ao desmatamento e a degradação dos solos, mas, foi com o processo de modernização da agricultura, iniciado na década de 1960 e intensificado na de 1970, no contexto da Revolução Verde, após a disseminação dos conhecimentos da química agrícola, que os problemas ecológicos passaram a receber maior importância em toda sua extensão, pois a modernização acabou usando como parâmetro para avaliação de sua eficiência, apenas o aumento da produtividade agrícola, não considerando como parte desse processo de desenvolvimento, o agricultor e o ambiente, provocando assim diversos problemas sociais e ambientais, como o uso excessivo de agroquímicos. A partir disso, em função do impacto negativo causado por essa modernização, surgiram movimentos apresentando modelos de produção alternativos, fundamentados em princípios agroecológicos e caracterizados por diferentes correntes de pensamento (Assis 2005).

Nos principais países da América Latina, assim como no Brasil, no final dos anos 70 e início dos anos 80, os Programas de Desenvolvimento em áreas rurais, promovidos pelo Banco Mundial passaram a discutir sobre a Inclusão Social e o Manejo dos Solos e da Água em resposta às consequências sociais e ambientais do processo de modernização da agricultura, incluindo estes nas políticas públicas, e ainda foram aprovadas novas leis referentes ao uso de agrotóxicos. Movimentos em defesa da agricultura alternativa são iniciados, onde nesse período, muitos pesquisadores apresentam debates relacionados ao modelo de agricultura vigente e quatro Encontros Brasileiros de Agricultura Alternativa (EBAA) são realizados, apresentando críticas ao modelo tecnológico convencional, a degradação ambiental e as condições sociais de produção. Esses encontros deram mais força aos movimentos, surgindo também, neste período, as primeiras organizações não governamentais envolvidas com o tema. Em 1987, o termo sustentável foi discutido pela Comissão Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), mostrando que o sustentável faz com que a integração ao desenvolvimento fique acima dos interesses de classe (Carmo 1998), onde através deste pode se produzir de forma economicamente viável, ambientalmente suportável e socialmente equitável (Figura 3.1). Assim, a agroecologia originou-se da busca por uma base teórica para as diferentes correntes de agricultura alternativa que surgiram no decorrer do tempo (Figura 3.2) (Assis 2005). Para agroecologia, é evidente que a transformação da agricultura rumo à sustentabilidade está fortemente relacionada aos processos de transformação da sociedade como um todo (Moreira e Carmo 2004).

Historicamente pode-se afirmar que a origem da Agroecologia é tão antiga quanto a da agricultura. As agriculturas tradicionais, indígenas ou camponesas, quando estudadas, apresentam sistemas agrícolas complexos adaptados às condições locais, com a estrutura e funcionamento dos agroecossistemas muito parecidos com as características dos ecossistemas naturais, revelando assim, estratégias de adaptação dos cultivos aos ambientais e conhecimentos tradicionais gerados durante muitos ciclos produtivos que são transmitidos de geração em geração (Hecht 1997).

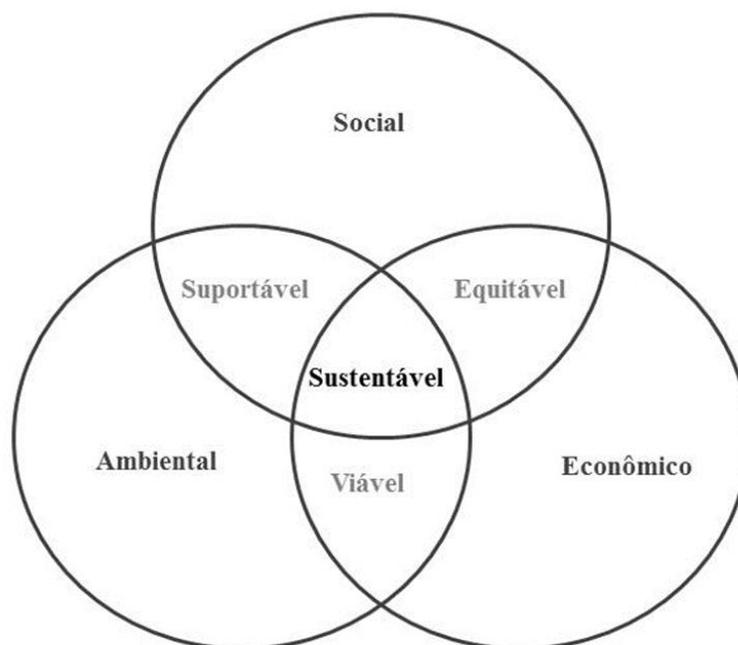


Figura 3.1 Tripé da sustentabilidade.

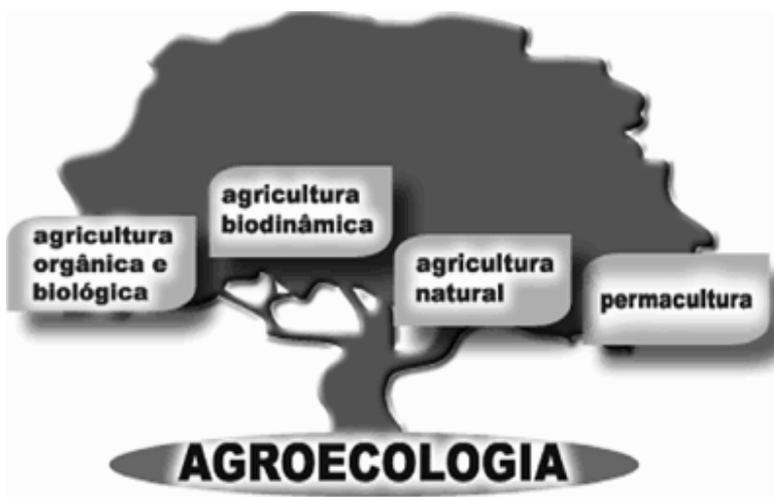


Figura 3.2 Bases para surgimento da Agroecologia, Gaia Ecologia, 2010.

3.2 O conceito de agroecossistemas

A agroecologia surgiu como ciência em meados da década de 1970, como uma estratégia de firmar uma base teórica que englobasse os diversos movimentos de agricultura não convencional (Hecht 1989). Esta forma de ciência tinha como objetivo entender como funciona os agroecossistemas complexos (Gliessman 2000). Um dos pontos chave da agroecologia é propor alternativas que busque reduzir as modificações e artificialização causadas pela agricultura convencional ao ambiente natural, desse modo, esta ciência opta pela utilização de ferramentas, teorias e hipóteses, bem como metodologias que estude, avaliem, analise e conduza os agroecossistemas e os sistemas

agrícolas diversos e complexos de forma sustentável. Além disso, a proposta da agroecologia também é compreender as interações existentes nos agroecossistemas, tendo como ponto base a conservação e o aumento da diversidade nos sistemas agrícolas buscando a autorregulação e a sustentabilidade (Assis 2006).

A agroecologia prima inicialmente pelas dimensões agrônômica e ecológica (Altieri 1989), e em segundo plano os aspectos político e sociológico (Casado et al. 2000). Os sistemas de produção agrícola envolvem tanto os processos ecológicos quanto os sociais, esse conjunto de práticas resulta em uma co-evolução dos sistemas naturais e sociais, desse modo, a agroecologia prima pela manutenção dos agroecossistemas de forma sustentáveis promovendo uma base científica para a agricultura que adota o princípio fundamental de baixos insumos externos ao ambiente e que conserve os recursos naturais, e que diretamente maximizam a reciclagem dos nutrientes e minimiza a perda dos recursos durante os processos de produção (Aquino e Assis 2007). Assim, a agroecologia pode ser explicada como uma prática de agricultura que oferece maior sustentabilidade quando suas aplicações atendem alguns princípios, como por exemplo, baixa dependência de insumos químicos, o uso de recursos naturais renováveis locais, redução de impactos ao meio ambiente, manutenção em longo prazo da produtividade, preservação da diversidade do ambiente, utilização do conhecimento popular e atende as necessidades de alimento e produção de renda local (Reijntes et al. 1992; Gliessman 2009). Segundo Altieri (1998), para a agroecologia uma produção tida como sustentável precisa manter equilibradas as interações entre o solo, nutrientes, plantas, organismos e disponibilidade de luz e água.

Os sistemas de produção com base agroecológica se destacam pela utilização de tecnologias que conservem a natureza dos recursos, para que assim, ao longo da cadeia produtiva possam manter o equilíbrio entre as interações dos processos de produção assim como também o ambiente. Com base nessas tecnologias foram desenvolvidas diferentes correntes de produção, dentre essas, uma das formas de produção que ganhou destaque é a agricultura orgânica que também é referenciada como sinônimo da agroecologia (Assis et al. 1998; Costa 1987; Jesus 1996, 1985). Os princípios da agroecologia se assemelham as características da produção familiar, que se ajusta ao sistema de organização da produção agrícola, no qual consistem em estruturas de produção diversificada e mais complexos que não causam prejuízos às atividades e ao controle do método de trabalho (Assis 2006). A agroecologia pode ser empregada como uma ferramenta de grande importância na produção agrícola até em pequena escala, principalmente quando levado em conta a baixa dependência de utilização de insumos e que diretamente influencia na manutenção e recuperação do ecossistema (Aquino e Assis 2007). Em agroecossistemas tradicionais, atividades diversificadas e complexas resultam na estabilidade dos sistemas agrícolas, e esse tipo de manejo e produção permite que os cultivos atinjam bons níveis de produtividade mesmo quando o ambiente se encontra em condições de estresse. De modo geral, os agroecossistemas tradicionais, se mostram menos vulneráveis a grandes perdas, isso em função de uma maior complexidade, variedade e diversidade, quando analisados em tempo e espaço (Altieri 2010).

A agroecologia engloba e articula diferentes conhecimentos, diversas ciências, assim como também resgata o saber empírico permitindo uma melhor compreensão, análise e crítica dos modelos de produção e desenvolvimento da agricultura industrial, dessa forma, a agroecologia busca uma melhor abordagem holística e transdisciplinar, assim como também, objetiva melhorar o desenvolvimento rural e os estilos de produção agrícola (Caporal et al. 2002). Sistemas agrícolas que são geridos pela prática de manejo orgânico com foco na agroecologia tem o compromisso de manter e/ou recuperar a diversidade dos agroecossistemas bem como as áreas circunvizinhas, ao passo que dessa forma possibilitam a geração de renda para os agricultores, e consequentemente agrega valores aos produtos locais promovendo ampliação e comercialização dos produtos (Aquino e Assis 2007).

Para Assis e Romeiro (2002), o sucesso de um agroecossistema depende inicialmente da preocupação com a qualidade do solo, da recuperação e manutenção do equilíbrio biológico do solo, uma vez que os componentes físico e químico são influenciados a partir deste. Portanto, se faz necessário aplicar técnicas e soluções criativas que busquem reduzir a utilização de produtos agroquímicos, tendo como base a preocupação em conter a erosão, conservar a fertilidade e equilibrar as relações solo-planta-organismos conseguindo assim manter os recursos naturais (Almeira 1998).

Entretanto, o sucesso e a difusão dos benefícios da agroecologia dependem de alguns fatores e de alterações nas políticas agrárias, nas instituições, assim como na forma de aplicar esses conceitos via extensão e investigação das atividades empregadas (Richards 1985). A agroecologia faz um resgate de informações tradicionais que foram esquecidas e inutilizadas pela agricultura industrial, sem precisar voltar ao passado de técnicas antigas, mas procura oferecer e utilizar técnicas mais atuais descobertas pela ciência criando agroecossistemas sustentáveis gerando boa produção e podendo ser comparadas a ecossistemas naturais quanto a sua qualidade (Gliessman 2000). Desse modo, a agroecologia através de técnicas próprias e incluindo os agroecossistemas como a base de estudo, busca compreender a natureza dos ambientes bem como o seu funcionamento, associando princípios ecológicos, agronômicos, econômicos e sociais na percepção e avaliação das tecnologias empregadas nos sistemas agrícolas (Assis 2005). Segundo Oelofse et al. (2011), para a sustentabilidade de um agroecossistema se faz necessário quatro componentes básicos ao sistema: o uso de cobertura vegetal, o fornecimento de resíduos orgânicos regularmente no solo para suprir as atividades bióticas, rotações de culturas, consórcios e utilização de leguminosas para favorecer a ciclagem dos nutrientes e controle das pragas através de controle biológico e da conservação dos inimigos naturais (Figura 3.3).

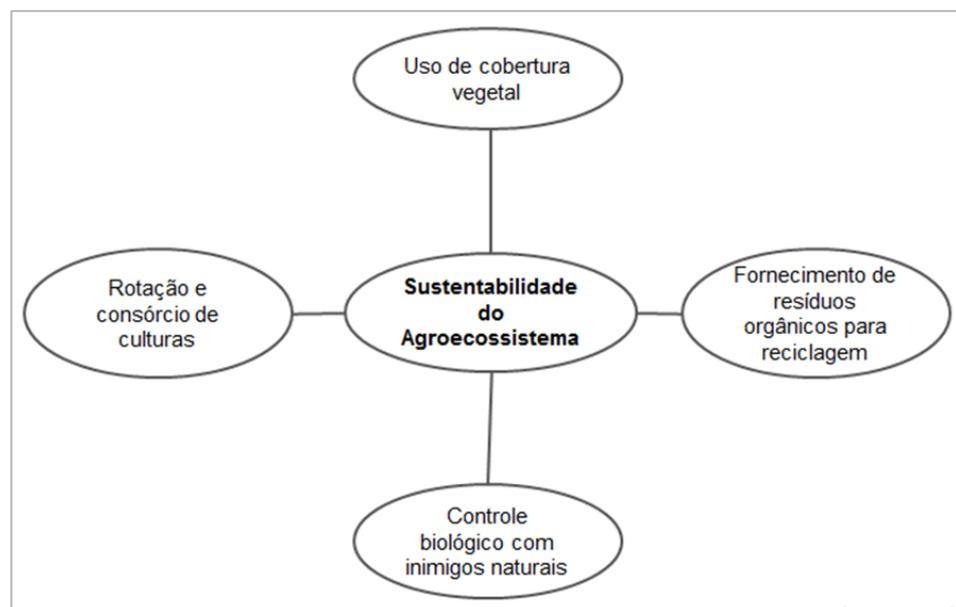


Figura 3.3 Componentes básicos para sustentabilidade de um agroecossistema. Adaptado de Oelofse et al. (2011).

3.3 Fazendo a transição para a sustentabilidade

O sistema convencional é um modelo bastante difundido que compõe um conjunto de práticas onde visa a expansão e o aumento da produtividade em larga escala para o suprimento da população sem se importar com o meio ambiente (Feiden et al. 2002). Porém com o surgimento do forte debate sobre a qualidade ambiental e a insustentabilidade desse sistema deu-se início a difusão de uma agricultura ecológica, sistema esse que respeita o ambiente e beneficia também a trocas de saberes científicos e locais entre os agricultores (Caporal e Costabeber 2004). A agricultura ecológica engloba várias concepções sendo elas: a permacultura, agroecologia, agricultura natural, plantio direto entre outros, visando a redução de insumos, agroquímicos, a redução no impacto ambiental

e a valorização social dos agricultores (Beus e Dunlap 1990). Para o agricultor já habituado com o sistema convencional e tem desejo e visão de implementar um novo sistema de agricultura sustentável em favor ao meio ambiente pode proceder uma transição desses ambientes, no entanto devemos lembrar os limites do seu habitat. Abaixo segue a tabela 3.1 relacionando algumas características da agricultura convencional e ecológica.

Tabela 3.1 Características da Agricultura convencional e ecológica.

Agricultura convencional	Agricultura ecológica
Elevada produtividade	Consumo reduzido
Base genética pequena	Ampla base genética
Predomina monocultivo	Predomina policultivo
Padronização de sistema de produção	Sistema de produção alternados
Isolamento de culturas e animais	Integração lavoura e animais
Uso intensivo de recursos	Uso alternados e reduzido
Ciência e tecnologia especializada	Interdisciplinaridade orientada
Agropecuária como negocio	Agropecuária como meio de vida
Concentração de terra	Descentralização da terra
Interesses pessoais e falta de cooperação	Trocas de experiências e saberes
Exaure o ambiente	Convive com o ambiente

Adaptado de Beus e Dunlap (1990)

3.3.1 O que seria transição?

A transição de um sistema para outro é o processo de mudança que ocorre através do tempo nas formas de manejo dos agroecossistema (ex. passagem de modelo químico a de bases agroecológicas), sendo crescente, contínuo e multilinear (Barbosa 2011). No entanto, essa mudança não só implica na troca de manejos, mas também na parte social e na conservação dos recursos.

3.3.2 Como realizar?

Para uma transição adequada e duradoura alguns autores dividem o processo em sequências ou níveis que devem ser adotados, sendo eles expressos na figura 3.4. O primeiro nível consiste na transição dos valores e na ética nas decisões de produção, o segundo no aumento da eficiência das práticas convencionais, o terceiro em substituir os insumos e as práticas convencionais, e por último o redesenho do agroecossistema (Gliessman 2000).



Figura 3.4 Vias de transição da agricultura convencional para a ecológica. Adaptado de Gliessman (2000)

A transição de valores e na ética orienta as decisões de consumo, produção e na organização social (Caporal 2009). A eficiência de práticas consta na racionalização no uso a fim de reduzir de desperdícios de energia e insumos de acordo com a aptidão agrícola e uso de água (ex. aplicar a quantidade mínima de adubos que seja necessária para o suprimento da planta sem afeta o solo, e a quantidade localizada da lamina de irrigação assim diminuindo a lixiviação para o lençol freático causando eutrofização) (Caporal e Costabeber 2002). O terceiro passo é a substituição dos insumos industriais pelos de origem natural e orgânico que são menos agressivos ao ambiente, priorizando esses materiais da própria propriedade ou da região que seja de fácil transporte e histórico conhecido (Costabeber et al. 2000). Na figura 3.5 são mostrados os exemplos de alguns fertilizantes alternativos que podem ser utilizados. O quarto nível é a fase do redesenho para que funcione com base no conjunto de processos, onde é importante garantir a proteção dos recursos naturais, estabilidade do agroecossistema, segurança alimentar, ciclagem de nutrientes e maximização de renda (Gliessman 2000).

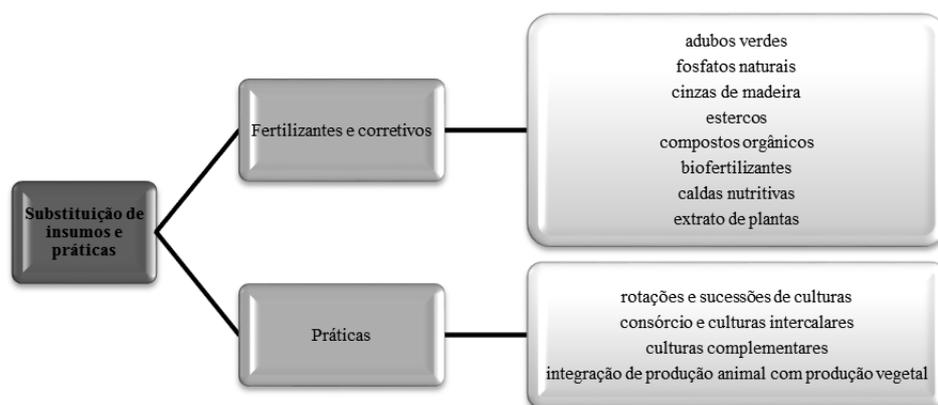


Figura 3.5 Exemplo de fertilizantes, corretivos e práticas alternativas. Adaptado de Feiden (2000)

3.3.3 Passos para a conversão

Nesta seção será dada ênfase na transição do convencional para o orgânico. Na figura 3.6 demonstra os seis passos para a conversão, sendo eles: diagnóstico da propriedade, postos-chaves, calendário de registro do trabalho, comercialização, processo de certificação e certificação.

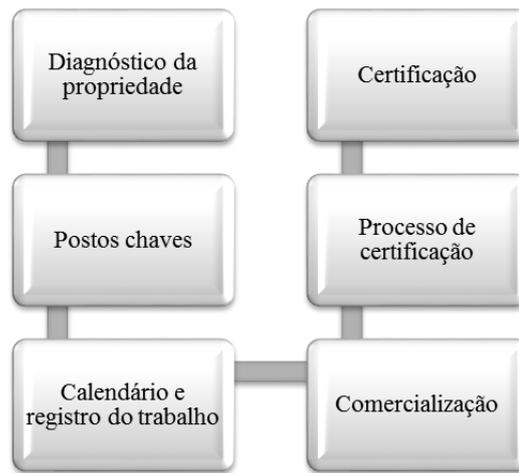


Figura 3.6 Passos da conversão para o sistema orgânico. Adaptado de Feiden (2000)

A etapa de diagnóstico é o conhecimento da realidade atual da propriedade, sendo realizado pela interação de experiências e conhecimento entre os técnicos e agricultores dando enfoque holístico e sequencial, obtendo dados de recursos, infraestrutura, manejo e das relações sociais e econômicas. Nos postos chaves são os estabelecimentos das metas entre os agricultores e técnicos através da negociação na modificação do sistema, o calendário e registro de trabalho serve para orientação e clareza nos objetivos a ser alcançado nas mudanças do sistema podendo ter modificações conforme a avaliação dos resultados e redirecionando o sistema (Feiden et al. 2002). É importante ter definido os compradores antes de iniciar a produção, para evitar transtornos e enganos na hora da comercialização, se possível realizar uma pesquisa de mercado. No processo de estabelecimento da certificação existem leis e normas a se seguir, para a agricultura orgânica a Lei 10.831, de 23 de dezembro de 2003 serve de base para cultivos e comercialização, no entanto existem outros dispositivos legais regulamentados que relata os insumos a serem usados, como também as especificidades para cada atividade (Decreto nº 6.323, de 27 de dezembro de 2007). O agricultor deve escolher a certificadora mais apropriada para sua situação. No momento que a propriedade está apta, a mesma receberá o selo que consiste na certificação e no enquadramento das normas e leis (Santos e Monteiro 2008).

3.4 Ecossistemas naturais e agroecossistemas do Estado da Paraíba, Brasil

O estado da Paraíba está localizado no Nordeste setentrional, no domínio tropical do Brasil. O meio ambiente está caracterizado por dois domínios biogeográficos, a Mata Atlântica e a Caatinga. Os ecossistemas da Mata Atlântica abrangem desde o litoral, onde predomina o manguezal, vegetação de restinga e Florestas ombrófilas, até as áreas mais interiores, onde há Florestas estacionais e uma macha de Floresta Ombrófila aberta nos brejos de altitude. Os ecossistemas da Caatinga abrangem desde o Cariri paraibano, onde há uma rustificação da vegetação de porte arbóreo para arbustivo, até o sertão, onde há áreas com manchas de porte arbustivo, arbóreo e herbáceo em tensão. Entre os dois domínios biogeográficos há uma região de transição, o Agreste (Figura 3.7) (Vasconcelos Sobrinho 1971).

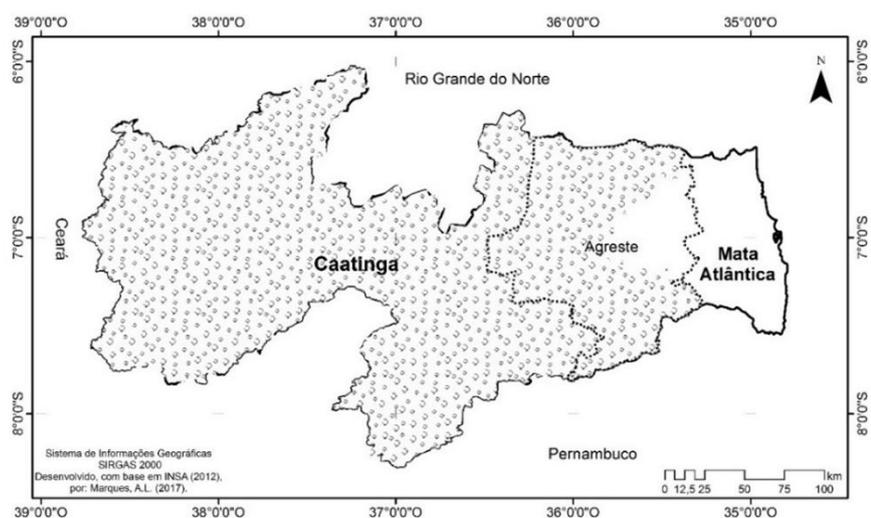


Figura 3.7 Domínios biogeográficos do estado da Paraíba adaptado de AESA (2010).
Fonte: Marques, A.L.

No estado há três tipos climáticos: o Clima tropical quente-úmido, com chuvas de outono-inverno (As'); o Clima semiárido quente (BSh) e o Clima quente semi-úmido, com chuvas de verão (Aw'). O clima (As') ocorre na depressão litorânea e baixos planaltos costeiros, onde ocorre uma média anual de 1.800 mm e uma temperatura média anual de $26^{\circ}C$. Os solos variam de Entisols (praias) a Oxisols (tabuleiros). Ocorre também no Agreste, especificamente nos encaves dos Brejos de altitude (barlavento oriental da Borborema), onde há uma média pluviométrica em torno de 1500 mm e os solos variam de Alfisols a Oxisols. O clima (BSh) ocorre no Agreste (planalto da Borborema), com precipitação anual em torno de 500 mm e temperatura média anual de $26^{\circ}C$. Os solos variam de Entisols a Vertisols. E o clima Aw' estende-se pela região do sertão (pediplano), com precipitação média anual de 800 mm. A temperatura média anual é de $27^{\circ}C$, com solos que variam de Entisols, Aridisol e Vertisols (Vasconcelos Sobrinho 1971).

3.4.1 Os Brejos de altitude

O termo Brejo refere-se ao acidente geográfico que desencadeia chuvas orográficas pela posição no barlavento de serras, planaltos e chapadas, em cotas de altitude entre 500 a 1200m. Ao longo da evolução dessa paisagem coberturas vegetais úmidas se fixaram nos topos de relevo que sofreram isolamento geográfico, originando os encaves, os chamados brejos de altitude (Vasconcelos Sobrinho 1971), ou jardins suspensos do Sertão (Cavalcante 2005). A hipótese mais aceita sobre a origem biogeográfica das florestas úmidas nos Brejos é a das variações climáticas ocorridas no Plioceno superior e Pleistoceno, tal explicação faz parte da teoria dos Redutos de Vegetação e dos Refúgios de Fauna (Ab'Sáber 1957; Bigarrela 1971; Vanzolini 1970; Troppmair 1973). Segundo Ab'Sáber (1957), e evolução dessas paisagens se deu por processos que:

[...] se fizeram atuar, progressivamente, por alguns milhares de anos, provavelmente 23.000 anos A.P. até 12700 anos A.P. (antes do Presente). [...] nos 'corredores' da semiaridez em processo, feneceram as coberturas florestais anteriores, processou-se uma generalizada

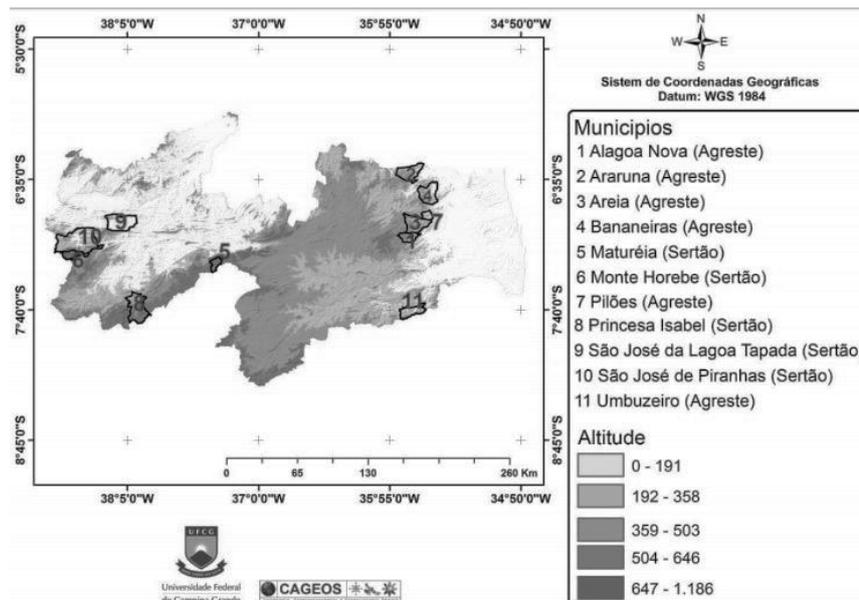


Figura 3.9 Mapa dos brejos da Paraíba. Fonte: Adaptado de Vasconcelos-Sobrinho (1971) e Araújo (2012). Fonte: Marques et al., (2014).

3.4.2 O Brejo altitude de Areia (PB)

O município de Areia é um brejo de altitude por ação de ventos úmidos de Leste do vórtice oceânico/Massa Tropical Atlântica, atuantes nas encostas do Planalto e Piemonte da Borborema, formando o barlavento (Figura 3.10), que se caracteriza por áreas intensamente dissecadas e rampeadas em direção ao litoral (Oeste-Leste). A geologia varia de Suítes da depressão interplanáltica paraibana à capeamentos mesetados da Formação Serra dos Martins, que caracteriza o relevo com morros de topos planos, vales e várzeas, com hipsometria que varia de 164 a 635m no predomínio biogeográfico da Floresta ombrófila aberta, Floresta Esrac. semidecidual e Caatinga em Ultisol e Oxisols (Marques 2015).

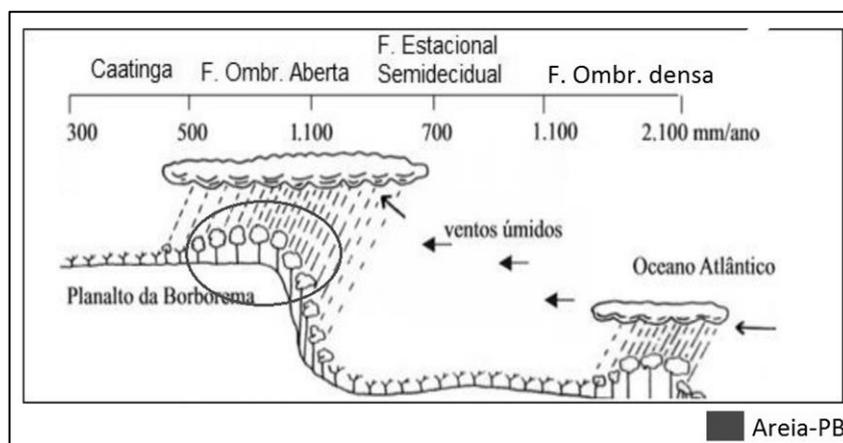


Figura 3.10 Barlavento oriental do estado da Paraíba. Fonte: Adaptado de Tabarelli e Santos (2004).

3.4.3 A paisagem de brejo de altitude de Areia-PB e os impactos dos sistemas convencionais de manejo do solo

Os sistemas convencionais de manejo em áreas de brejo de altitude podem acarretar e acelerar diferentes problemas de ordem ambiental. Ao analisar a pluviometria, declividade e pedologia do município de Areia é possível identificar risco e vulnerabilidade interpostas a natureza da própria paisagem (Figura 3.11).

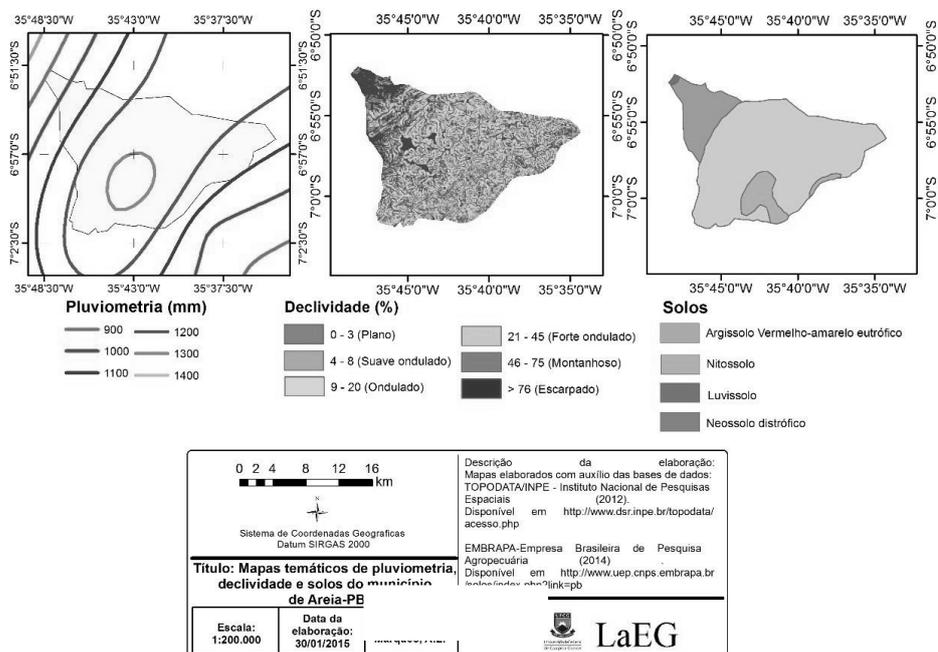


Figura 3.11 Pluviometria, morfologia e pedologia do município de Areia-PB. Fonte: Marques (S/D)

Ao verificar a declividade da área vê-se uma variação entre superfícies suave-onduladas (4-8%) a escarpadas (>75%). As áreas de forte declive (escarpadas) corroboram com a problemática de erosão hídrica do solo (Argissolo vermelho-amarelo eutrófico), que se acentua ainda mais com os níveis pluviométricos (1200-1300mm/8-9 meses de chuva orográfica) da área. A morfologia dessas áreas são morros dissecados e vales em forma de U com geologias da Formação Serra dos Martins (FSM) nos topos ou cumes, encaixada em Suítes intrusivas, que formam as vertentes ou taludes em condições climáticas úmidas, condicionando topos planos e mesetados e vertentes íngremes. Devido ao plantio nessas áreas, há uma maior propagação da erosão devido à prática de corte dos taludes, que além da gravidade, obedecem às estimativas de perdas de solo por escoamento superficial (erosão hídrica), formando lamina, sulcos e buracos que criam e alargam canais de drenagem.

Esse arranjo do geossistema, que é problemático para atividades agrícolas bem ou mal manejadas, também foi identificado por Embrapa (2006). Segundo a qual, a pedologia do Argissolo vermelho-amarelo eutrófico, potencialmente, quando ocorre, nas superfícies onduladas do Planalto da Borborema é ácida devido à morfogênese das rochas cristalinas ou sob influência destas (granitos, gnaisses e micaxistos). O caráter eutrófico é responsável pela maior fertilidade com elementos bases, como cálcico, magnésio e potássio, porém, quando mal manejado, fica altamente susceptível à erosão. Silva Júnior (2010) também corrobora essa discussão. Segundo o autor, nas áreas de

solos com declividade entre 8% e 20% (relevo ondulado), há necessidade de práticas intensivas de controle da erosão; acima de 30% de declividade, as áreas são consideradas inadequadas, e há necessidade de medidas rigorosas para diminuir a erosão, elevando os custos para se produzir.

Nesse contexto, as variáveis naturais interpostas à paisagem demonstram que um contexto de geossistema que reúne: regime pluviométrico (1200-1300mm/8-9 meses de chuva orográfica), declividade com terrenos montanhoso a escarpado e solos do tipo Argissolo vermelho-amarelo eutrófico já é problemático com o risco natural da paisagem à degradação. Assim, atividades agrárias, quando mantidas nesse brejo de altitude, devem manter-se sob assistência técnica.

Topos de morros, canais de drenagem e várzeas são expoentes de nascentes e leitos de rios, dessa forma, são Áreas de Preservação Permanentes (APPs). Diante disso, não se poderia haver qualquer tipo de manejo nessas áreas, porém, como há, e devido haverem resquícios de florestas pressionados e em vários estágios sucessionais, se poderia criar uma identidade agroflorestal e criação de agroecossistemas. Essa medida permitiria criar corredores ecológicos, recompor as APPs e re-vegetar com espécies nativas as áreas mais esgotadas e de forte declive, propiciando o retorno de espécies polinizadoras e dispersoras.

3.5 Referências

Ab'sáber NA (1957) Conhecimentos sobre flutuações do Quaternário no Brasil. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, 6:41-48

Altieri MA (1989) Agroecologia - as bases científicas da agricultura alternativa. Rio de Janeiro: PTA-FASE, 237p

Altieri MA (1998) Agroecologia - A dinâmica produtiva da agricultura sustentável. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 110 p

Altieri MA (2010) Agroecologia, agricultura camponesa e soberania alimentar. Revista NERA, v.13, n.16, pp. 22-32

Almeida DL (1998) Sistema Integrado de Produção Agroecológica ("Fazendinha Agroecológica km 47"). In: Encontro nacional sobre produção orgânica de hortaliças. Vitória: Emcapa, p. 77-94

Assis RL (2005) Agricultura orgânica e agroecologia: questões conceituais e processo de conversão. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 35p

Assis RL (2006) Desenvolvimento rural sustentável no Brasil: perspectivas a partir da integração de ações públicas e privadas com base na agroecologia. Economia Aplicada, v.10, n.1, 75-89

As-PTA (2017) <<http://aspta.org.br/quem-somos>> Acesso em 24/04/2017.

Araújo SMS (2012) Tempo espaço e biogeografia. In: Rodrigues, AF, Silva E, Aguiar JO (org) Natureza e cultura nos domínios de Clio: história, meio ambiente e questões étnicas. EDUFMG, Campina Grande, pp 155-176

Assis RL (2005) Agroecologia: Visão Histórica e Perspectivas no Brasil. In: Agroecologia: princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, pp 517

Beus CE, Riley ED (1990) Agricultura Convencional versus alternativa: as raízes paradigmáticas do debate. Rural Sociology 55:590-616

Bianchini V, Medaets JPP Da revolução verde à agroecologia: plano Brasil agroecológico. pp 21 Dados não publicados.

Bigarella JJ (1971) Variações climáticas no quaternário superior do Brasil e sua datação radiométrica pelo método do carbono 14. IG-USP, São Paulo

Brasil. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2012) Manual técnico da vegetação brasileira. IBGE, Rio de Janeiro

Campos JD (2016) Centro de Educação Popular e Formação Social – CEPFS. Resumo do projeto Agroecologia Gerando Renda e Promovendo Cidadania na Serra de Teixeira-PB. Petrobras - Programa Petrobras desenvolvimento & cidadania patrocinadora do projeto

Caporal FR, Costabeber JA (2002) Análise multidimensional da sustentabilidade. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável 3:71-84

Caporal FR, Costabeber JA (2004) Agroecologia: aproximando conceitos com a noção de sustentabilidade. In: Ruscheinsky A (org) Sustentabilidade: uma paixão em movimento. Sulina, Porto Alegre, pp 46-61

Caporal FR (2009) Em defesa de um plano nacional de transição agroecológica: compromisso com as atuais e nosso legado para as futuras gerações. MDA/SAF, Brasília

Carmo MS (1998) A produção familiar como locus ideal da agricultura sustentável. In: Ferreira ADD, Brandenburg A. Para pensar outra agricultura. Curitiba: UFPR, pp 275

Cavalcante A (2005) Jardins suspenso no Sertão. Revista Scientific American, Rio de Janeiro

Costabeber JA, Moyano E (2000) Transição agroecológica e ação social coletiva. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável 1:50-60

Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (2006) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro

Feiden A, Almeida DL, Vitoi V, Assis RL (2002) Processo de conversão de sistemas de produção convencionais para sistemas de produção orgânicos. Cadernos de Ciência e Tecnologia 19:179-204

Figueiredo MAB, Lima Junior T (2006) Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. In: Lima Junior T, Figueiredo MAB (org) Extensão Rural, desafios de novos tempos: agroecologia e sustentabilidade. Edições Bagaço, Recife, pp 29-45

Gliessman SR (2000) Agroecologia: processo ecológicos em agricultura sustentável. Ed. Universidade UFRGS, Porto Alegre

Hecht AS (2002) Evolução do pensamento agroecológico. In: Altieri M. Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável. Guaíba: Agropecuária, pp 21-51

Jesus EL (1996) Da agricultura alternativa à agroecologia: para além das disputas conceituais. Agricultura Sustentável, 1-2:13-27

Jesus EL (1985) Histórico e filosofia da agricultura alternativa. Proposta, 27:34-40

Marques ALA (2015) Formação Serra dos Martins no estado da Paraíba. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Federal de Campina Grande

Marques AL, Silva JB, Silva DG (2014) Refúgios úmidos do semiárido: um estudo sobre o brejo de altitude de Areia-PB. Revista Geotemas 4:17-31

- Medeiros CAB, Carvalho FLC, Strassburger AS (2011) Transição agroecológica: construção participativa do conhecimento para a sustentabilidade – resultados de atividades 2009 | 2010. Embrapa, Brasília
- Moreira RM, Carmo MS (2004) Agroecologia na construção do desenvolvimento rural sustentável. Revista Agrícola. São Paulo - SP, 51: 37-56
- Naime R (2015) Histórico e práticas da Agroecologia. EcoDebate. <https://www.ecodebate.com.br/2015/11/05/historico-e-praticas-da-agroecologia-artigo-de-roberto-naime/>. Acessado em 15 de abril de 2017
- Oelofse M, Høgh-Jensen H, Abreu LS, Almeida GFD, El-Araby A, Hui QY, Sultan T, Neergaard AD (2011) Organic farm conventionalisation and farmer practices in China, Brasi and Egypt. *Agronomy for Sustainable Development*, 31:589-698
- Reijntjes C, Haverkort B, Waters-Bayer A (1992) Farming for the future: na introduction to low-external-input and sustainable a agriculture. London: Macmillan Press, pp 250
- Richards P (1985) *Indigenous Agricultural Revolution* (Boulder: Westview Press, pp 172
- Rocha JC, Costa JWS (2005) Fundo Rotativo Solidário: instrumento de promoção da agricultura familiar e do desenvolvimento sustentável no semiárido. *Agriculturas*, 2:12-15
- Silva AJ, Rego NJ, Campos J D, Silva JD, Rabay EAF, Azevedo EO (2011) Transição agroecológica no semiárido: relato de experiência em Teixeira, Paraíba. NEPA/UFCEG/CNPq Cadernos de Agroecologia – ISSN 2236-7934 – Vol 6, N. 2
- Santos GD, Monteiro M (2008) Sistema orgânico de produção de alimentos. *Alimentos e Nutrição Araraquara* 15:73-86
- Silva JJF (2010) Sistema de produção de banana para a Zona da Mata de Pernambuco. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Recife
- Troppmair RH (1973) Estudo zoogeográfico e ecológico do gênero *Atta* (Hymenoptera), com ênfase sobre *Atta laevigata* (Smith, 1858) no Estado de São Paulo. Tese, Universidade de São Paulo
- Vanzolini P (1970) *Zoologia sistemática geografia e a origem das espécies*. USP, São Paulo
- Vasconcelos-Sobrinho J (1971) Os brejos de altitude e as matas serranas. In: Vasconcelos-Sobrinho J (ed) *As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização*. CONDEPE, Recife, pp 79-86

Capítulo 4

FERTILIDADE DO SOLO EM AGROECOSSISTEMAS

Djail Santos

Tancredo Augusto Feitosa de Souza

Samuel Inocência Alves da Silva

Ailson de Lima Marques

Edjane Oliveira de Lucena

Begna Janine da Silva Lima

Alexandre José da Silva

Fernando José da Silva

4.1 Relação solo-planta

O ciclo biogeoquímico da água (Figura 4.1) é o movimento contínuo da água nos oceanos, continentes (superfície, solo e rocha) e na atmosfera. Esse ciclo está diretamente relacionado com a força da gravidade e energia do sol, que vem a determinar os climas e ciclos que atuam nos ecossistemas. Na atmosfera, forma nuvens que precipitam chuva, granizo, orvalho e neve; no solo se acumula em forma de rios, lagos, icebergs e mares; no subsolo está infiltrada no solo, lençol freático e aquíferos (paleoáguas). Porém, a água é uma só e está sempre mudando de condição (MMA 2017).



Figura 4.1 Ciclo da água. Fonte: USGS Water Resources (2016). Fonte: <https://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>

A água é o principal elemento que compõem e nutri as plantas. Ela representa de 80 a 95% dos constituintes dos tecidos e protoplasma, que vem a corresponder 70~90% das plantas herbáceas, 50% de caules lenhosos e 95% de frutos suculentos. Dados amostrais confirmam que, nos solos, para cada grama de matéria orgânica, 500 gramas de água são absorvidas pelas raízes, transportadas pelo corpo da planta e disponibilizadas na atmosfera. É no sistema (água, solos, plantas e atmosfera) que ocorrem as reações metabólicas tendo a água como solvente, reagente ou produtos dessas reações. A entrada de água na planta, concentração e manutenção da quantidade resultam na turgescência e crescimento dos tecidos. De todos os recursos naturais disponíveis, a água é o mais importante porque direciona e determina a manutenção dos ecossistemas naturais e produtividade agrícola. Assim, a compreensão dos mecanismos de absorção, transporte e perda de água pelas plantas tornam-se muito importante (Ferreira 1992).

No solo e rochas a água chega através da precipitação e chuva oculta que cai das folhas das plantas, infiltra, preenche os poros, é absorvida em solução, transpirada e ao mesmo tempo e evapora diretamente do solo para a atmosfera. Parte é conduzida para camadas mais profundas, chegando ao lençol freático e aquíferos. A maior parcela da água proveniente de precipitação, devido a força mecânica de enxurradas, não penetra no solo, e escoam alimentando diretamente lagos, rios e oceano (USGS, Water Resources 2016).

A existência de plantas terrestres altas só se tornou possível quando as plantas adquiriram, no decorrer da evolução, um sistema vascular que permitiu um movimento rápido da água para a parte aérea onde ocorre a transpiração. As plantas terrestres sem um sistema vascular e com mais de 20 ou 30 cm de altura só poderiam existir num ambiente extremamente húmido, onde praticamente não ocorresse transpiração. Isto explica-se pelo facto do movimento da água por difusão de célula a célula ser demasiado lento para evitar a desidratação da parte aérea das

plantas a transpirar. A importância do sistema vascular pode ser demonstrado pelo facto de uma árvore, num dia quente de Verão, mover cerca de 200 litros de água desde as raízes até à superfície evaporante das folhas a mais de 20 ou 30 metros de altura (Kozlowski e Pallardy 1997).

4.1.1 A água no sistema solo-planta-atmosfera

A água possui capacidade de trabalho ou movimento. Este evento é denominado Potencial Hídrico que pode ser mensurado pelo MPa (Mega Pascal). O estado estável padrão da água é zero, neste estado a água encontra-se pura, que significa o seu máximo de trabalho/movimento possível nas moléculas. O potencial hídrico encontrado na atmosfera, nas plantas e nos solos é sempre menor que o potencial da água pura, assim, seus valores sempre são menores que zero (-) (Hopkins 2000). Esse trabalho/movimento da água nas plantas, sofre influência de dois componentes:

- Potencial de Pressão: é a força exercida pela molécula de água.
- Potencial Osmótico: representa a concentração de soluto (sais) na água, afetando seu movimento devido a interação da água com os sais.

São grandezas inversamente proporcionais: quanto mais soluto, menor é o potencial osmótico e menor é o potencial hídrico.

4.1.2 A água nos sistemas metabólicos vegetais

A Água é o componente mais importante dos sistemas vegetais. De forma sucinta, a água possui algumas atribuições no sistema metabólico vegetal por meio de processos (Ferri 1985), como:

- Solvente:

A água dissolve um número de substâncias bem maior do que qualquer outro líquido comum. Isto devido ao carácter dipolar de suas moléculas, evidenciada pela elevada constante dielétrica. Esta constante dielétrica situa-se na capacidade de uma substância tem de neutralizar a atração entre cargas elétricas.

- Fluxo em Massa:

O fluxo em massa ocorre quando uma força externa, tal como gravidade ou pressão, é aplicada. Como resultado, todas as moléculas da substância se movem como uma massa única. Um exemplo clássico é a água que recebemos nas torneiras de nossas casas, nas quais a água flui em resposta a uma pressão hidrostática estabelecida pela gravidade.

- Difusão:

A difusão pode ser interpretada como um movimento de uma substância, de uma região de alta concentração para uma região de baixa concentração, acompanhado de movimentos ao acaso de moléculas individuais. Assim, enquanto o fluxo em massa é impulsionado pela pressão, a difusão é impulsionada pela diferença de concentração. O movimento de água líquida, por diferença de concentração, é lento, de modo que a difusão

somente se torna importante para as plantas, quando se trata de transporte a curta distância (dentro da célula ou, quando muito, de uma célula para outra). Em particular, a difusão é um importante fator no suprimento de CO_2 para a fotossíntese bem como para a perda de vapor d'água durante a transpiração na folha.

- Osmose:

O processo de osmose é o movimento de qualquer solvente, tal como a água, através de uma membrana. Se no fluxo em massa, o transporte é impulsionado por um gradiente de pressão; e na difusão por um gradiente de concentração; o de osmose, se dá pelos dois. Assim, nesse processo a direção e a taxa de fluxo de água através das membranas são determinados pela soma destas duas forças (gradiente de pressão e de concentração).

4.1.3 Movimento de água nas folhas das plantas

As folhas das plantas exercem suas trocas gasosas (respiração) com o meio externo através de estruturas chamadas de estômatos. Esses são constituídos por células localizadas na epiderme dos traqueófitos do inferior das folhas (Figura 4.2). Aproximadamente 90% da água disponível no meio pela planta, acontece via transpiração, porém fatores como temperatura da folha, umidade relativa e ventos influenciam nesse processo. Salienta-se que esse mecanismo acontece para regular a quantidade de água na planta, diminuir a temperatura da folha e aumentar a umidade do ar no ambiente (Taiz & Zeiger, 1998).

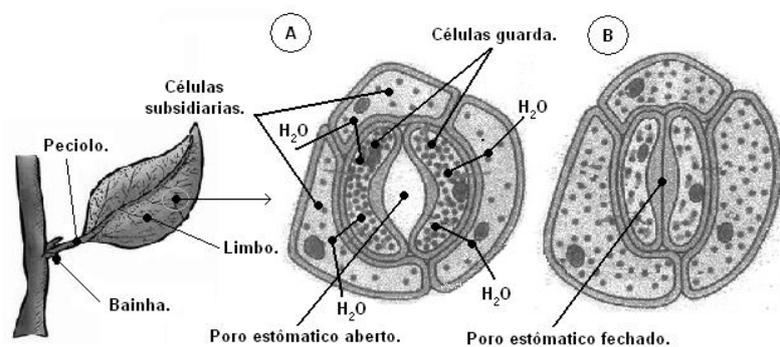


Figura 4.2 Célula-guarda confere abertura ao ostíolo: estômato aberto e fechado. Fonte: Biolcien (2011).

Fonte: <http://biolcien.blogspot.com.br/2011/06/estomatos-metabolismo-cam.html>.

4.1.4 Movimento da água no caule das plantas

O xilema é um conjunto vascular vegetal condutor de água que atua no caule das plantas. Numa planta com um metro de altura, por exemplo, cerca de 99,5% do transporte da água ocorre no xilema, e em árvores mais altas o movimento no xilema representa uma percentagem ainda maior (Taiz & Zeiger 1998). Esse movimento no xilema é devido ao gradiente de armazenamento e pressão da sua estrutura que provoca pressão (Figura 4.3).

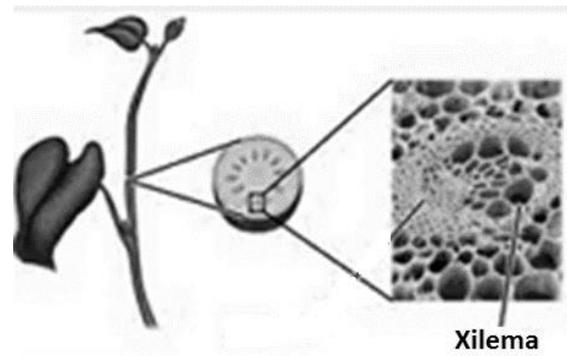


Figura 4.3 Esquema do vaso xilêmico no caule. Fonte: T. Biologia (2011). Fonte: http://www.todabiologia.com/botanica/xilema_floema.htm

4.1.5 Movimento da água nas raízes

Nas raízes existem dois movimentos diferenciados que a água percorre até chegar ao vaso xilêmico (Figura 4.4). O primeiro é o do apoplasto, que acontece do ambiente externo até a endoderme e caracteriza-se pelo movimento intercelular; simplasto é o movimento da endoderme até o xilema e acontece entre células, via plasmodesmos (Taiz e Zeiger 1998).

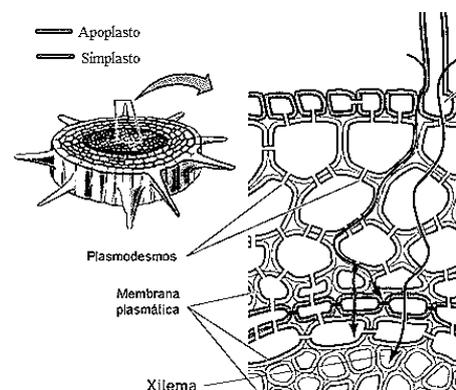


Figura 4.4 Transporte Apoplasto e Simplasto. Fonte: B. de Biologia (2014). Fonte: <http://biologia-test.blogspot.com.br/2014/08/circulacion-de-transporte-en-vegetales.html>

4.1.6 Transpiração na planta

A transpiração é o processo pelo qual a água, em forma de vapor, é liberada para a atmosfera. Está associado a temperatura externa e interna da planta, sendo considerado mais um mecanismo de regulação de água e temperatura das plantas. Nas plantas a água é absorvida pelas raízes, percorre os apoplasto e simplasto, chega ao xilema onde é armazenada e levada até os estômatos para liberação. Os estômatos causam uma diminuição na quantidade de água presente na planta, sem diminuir ou aumentar a quantidade de solutos. No entanto, a concentração de soluto será aumentada, diminuindo o potencial osmótico, causando a saída da água do xilema da

folha para folha de menor potencial hídrico. Isso vai ocorrer do xilema da folha com o do caule, deste com o xilema da raiz, criando um movimento até chegar às radículas, que também possuirá menos potencial hídrico comparativamente ao solo, então a água do solo será movimentada para o menor potencial hídrico, estimulando assim a transpiração. A intensidade da transpiração, irá acompanhar a variação de temperaturas (Taiz e Zeiger 1998).

4.1.7 Gutação na planta

A gutação é um mecanismo que as plantas utilizam, para continuar a absorver água, em condições de solo úmido, contendo altas concentrações de soluto, temperaturas amenas e ar úmido. Ou seja, não é um mecanismo de transpiração, uma vez que está associado a estresse hídrico da planta. O mecanismo de gutação está associado aos íons do solo, em concentração, que entram nas células das raízes ocasionando redução do potencial osmótico das células do xilema, o que diminui o potencial hídrico, criando assim o fluxo da água, no sentido ascendente. Como não ocorre o processo da transpiração, a perda de água é na forma líquida e não é pelos estômatos e sim pelos hidatódios (Taiz e Zeiger 1998).

4.1.8 Déficit hídrico

Na natureza ocorrem flutuações diárias na quantidade interna de água nas plantas. Isto acontece mesmo quando as plantas estão com suas raízes mergulhadas em um solo com bastante umidade e a longo prazo determina a quantidade de água disponível que cria a linha de evolução da espécie. É durante o dia que a taxa de absorção de água é alta, mas ela é menor que a taxa de transpiração, ou seja, a planta experimenta um déficit hídrico durante o dia. Isto também indica que a alta taxa de transpiração é que está sendo responsável pela absorção durante o dia. Durante a noite a planta praticamente não transpira e a taxa de absorção de água, embora seja pequena, mantém-se maior que a transpiração, promovendo a re-hidratação dos tecidos. O déficit hídrico também está associado a quantidade de água disponível no ambiente evolutivo da espécie. No semiárido (longos períodos de seca e estiagem), por exemplo, as plantas xerófilas, estão adaptadas ao déficit hídrico paleoambiental (Ferreira 1985).

4.1.9 Classificação de plantas quanto ao déficit hídrico

As espécies podem ser classificadas em grupos, com base na quantidade de água disponível para elas (precipitação e umidade), e cada grupo é caracterizado por uma combinação de suas adaptações estruturais perante o seu ambiente evolutivo (Ferreira 1985; Hopkins 2000). Os grupos são:

- Hidrófitas - Comum em zonas tropicais, áreas de inundação, crescem parcial ou totalmente submersas, onde a água é abundante, podendo viver em alta salinidade (*Sargassum vulgare*) ou podem ser de água doce (*Victoria amazônica*);

- Mesófitas – Comuns em áreas tropicais, crescem com uma disponibilidade intermediária de água (precipitação adequada pelo menos na estação de crescimento), exemplos: (*Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*);
- Xerófitas – crescem em zonas áridas e semiáridas, onde há baixa precipitação pluviométrica, ocorrem com adaptações que asseguram uma transpiração crítica (metabolismo ácido das crassuláceas, onde absorvem CO₂ à noite e o incorpora durante o dia; pelos e espinhos; armazenagem de água). Podendo ser divididas em:
 - As anuais – Apresentam dormência na seca e ciclo rápido na pouca chuva disponível (*Atriplex numulária*). Atravessam o período seco como sementes e quando chove, germinam rapidamente, crescem e produzem flores antes que o solo seque, e as sementes ficam em dormência à espera do próximo período vegetativo. Ou seja, se adaptaram a seca, não pela resistência a desidratação, mas sim por estarem reduzidas a semente durante o período da seca.
 - As suculentas - são plantas que vivem em regiões áridas e semiáridas, porém sem o fator de resistência como determinante, ou seja, secas sem serem verdadeiramente resistentes. Sua adaptação consiste numa grande capacidade de armazenamento de água (*Aloe vera*). Perdem pouca água assegurada por uma enorme redução da superfície folia, devido uma cutícula muito espessa e presença de espinhos que dissipação o calor e insolação.
 - As evasivas são plantas de regiões secas que asseguram a transpiração crítica através de modificações morfológicas ou anatômicas. Uma das adaptações mais significativas é o desenvolvimento de um sistema radicular profundo, capaz de chegar no lençol freático (*Spondias tuberosa*).
 - Euxerófitas – São as xerófitas verdadeiras. Ou seja, suportam desidratação elevada, devido à resistência protoplasmática mais complexa entre as xerófilas. Um exemplo é o (*Larrea divaricata*), que só morre quando sua reserva de água cai a 30% do peso fresco final, ao passo que a grande maioria das plantas morre em níveis de 75%.

4.1.10 A preservação do equilíbrio do sistema água-solo-planta-atmosfera nos sistemas agroflorestais

Os sistemas agroflorestais (Figura 4.5) apresentam peculiaridades de usos da terra mais próximos ao que a natureza executa. Dados da Articulação Nacional de Agroecologia (2014), por meio do pesquisador do Agroflorestar Walter Steenbock, demonstram que nas agroflorestas, a umidade relativa do ar é quase de 100%, mesmo em dias mais secos. Em comparativo com uma monocultura de soja, por exemplo, a umidade relativa do ar é muito menor, além disso, a água em suspensão consegue chegar ao solo e infiltrar, melhorando o equilíbrio do sistema devido criar uma condição de microclima.

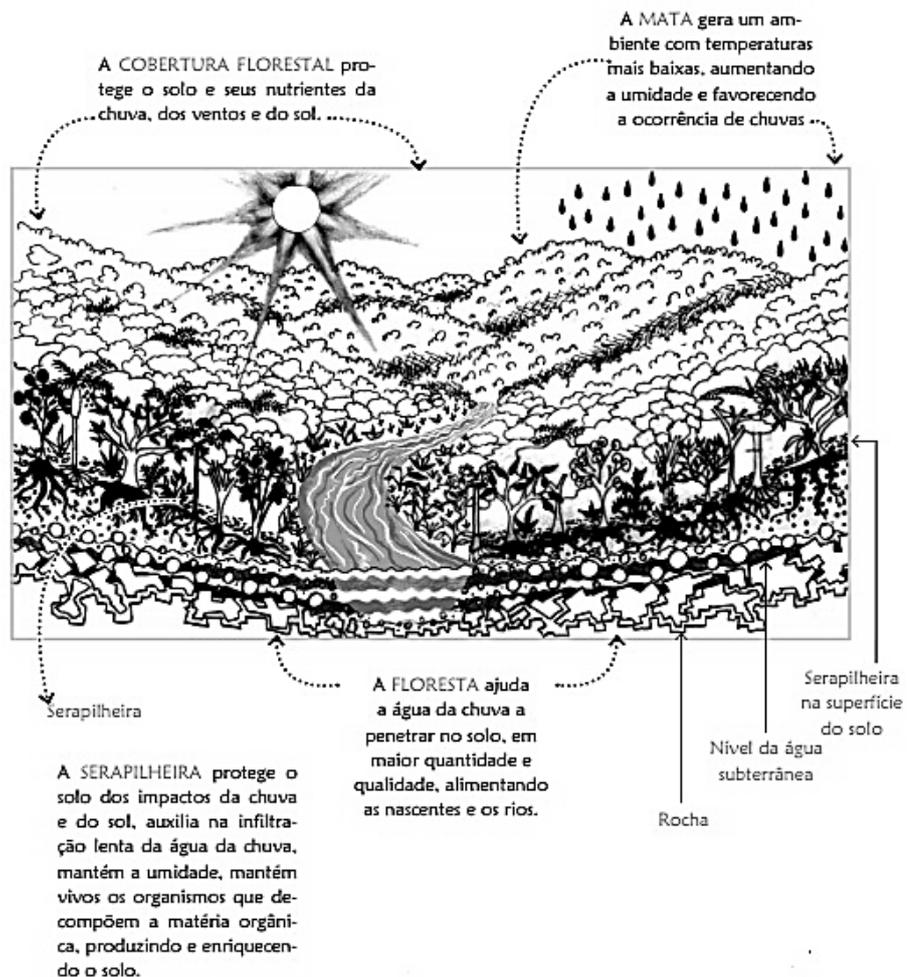


Figura 4.5 Sistema agroflorestal. Fonte: CBRN (2011).

4.2 Nutrição mineral de plantas e manejo da adubação

As plantas são autotróficas, necessitam de elementos considerados essenciais, para completarem seu ciclo. À medida que crescem, as plantas aumentam em biomassa e energia. O carbono e a energia são obtidos a partir da fotossíntese, enquanto que os nutrientes minerais são absorvidos a partir da solução do solo. Os nutrientes minerais acumulam-se nos diferentes compartimentos celulares podendo atuar como reguladores do metabolismo. Esses nutrientes que são assimilados vão acabar por fazer parte dos corpos de todos animais, incluindo os seres humanos (HOPKINS E HÜNER, 2009).

A nutrição de plantas estabelece quais são os elementos essenciais para o ciclo de vida da planta, como são absorvidos, translocados e acumulados, suas funções, exigências e os distúrbios que causam quando em quantidades deficientes ou excessivas. Para que um elemento químico seja considerado nutriente, é preciso atender aos dois critérios de essencialidade, o direto ou o indireto ou ambos, que foram propostos por Arnon e Stout (1939), fisiologistas da Universidade da Califórnia, conforme segue: **Direto** - O elemento participa de algum composto ou

de alguma reação, sem a qual a planta não vive; **Indireto** - Na ausência do elemento a planta não completa o seu ciclo de produção (vegetativo e reprodutivo); O elemento não pode ser substituído por nenhum outro; O elemento deve ter um efeito direto na vida da planta e não exercer apenas o papel de, com sua presença no meio, neutralizar efeitos físicos, químicos ou biológicos desfavoráveis ao vegetal.

Além do C, O e H (orgânicos), treze elementos (minerais) são considerados essenciais para o desenvolvimento das plantas, sendo estes divididos por aspectos puramente quantitativos em dois grupos: Macronutrientes: primários N, P, K, e secundários Ca, Mg e S; Micronutrientes: B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn. Alguns elementos podem afetar o crescimento e desenvolvimento das plantas, embora não se tenha determinado condições para caracterizá-los como essenciais. Marschner (1986) inclui nesta categoria o sódio, silício, cobalto, níquel, selênio e alumínio. O Co é essencial para a fixação biológica do N₂ em sistemas livres e simbióticos (Marschner 1986) e a essencialidade do Si (Takahashi e Miyake 1977) e do Ni (Brown et al. 1987) tem sido proposta.

As plantas absorvem do solo, sem muita discriminação, os elementos essenciais, os benéficos e os tóxicos, podendo estes últimos, inclusive, levá-las à morte. Algumas espécies requerem outros nutrientes que não são considerados essenciais e sim benéficos (Hopkins e Hüner 2009). Os elementos benéficos não são absolutamente necessários para a sobrevivência dos indivíduos, mas promovem o seu crescimento e vigor (Öpik e Rolfe 2005).

Segundo Mengel e Kirkby (2001), sob o ponto de vista fisiológico é difícil justificar a classificação dos elementos essenciais às plantas segundo a classificação de macro e micronutrientes, dependente da concentração do nutriente nos tecidos da planta. Os nutrientes minerais considerados essenciais foram classificados em quatro grupos principais de acordo com a sua função (tabela 4.1). Assim, temos um primeiro grupo de nutrientes que fazem parte de compostos carbonados (nitrogênio e enxofre) (**Grupo 1**); um segundo grupo em que estão os que são importantes no transporte de energia e integridade estrutural (fósforo e boro) (**Grupo 2**); um terceiro grupo onde colocamos os que permanecem na forma iônica (potássio, cálcio, magnésio, cloro, manganês) (**Grupo 3**) e finalmente o grupo dos que intervêm nas reações redox (ferro, cobre, molibdênio e zinco) (**Grupo 4**) (Taiz e Zeiger 2010).

Tabela 4.1. Classificação dos nutrientes de acordo com a sua, forma disponível, mobilidade e função.

Nutriente	Forma disponível	Mobilidade	Função / grupo
Nitrogênio	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	Altamente móvel	Na forma orgânica é constituinte de aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, entre outras moléculas. Na forma inorgânica (NO ₃ ⁻) pode acumular-se nos caules e nos tecidos condutores. (Grupo 1)
Fosforo	H ₂ PO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	Móvel	Componente dos açúcares fosfatados, ácidos nucleicos, nucleótidos, etc. Tem um papel fundamental nas reações que envolvem ATP e por ser parte do DNA e RNA está envolvido na informação genética. (Grupo 2)
Potássio	K ⁺	Altamente móvel	É um cofator de mais de 40 enzimas. É o cátion principal na manutenção da turgidez celular e na manutenção da eletroneutralidade, fazendo parte do mecanismo de abertura e fecho dos estomas. É necessário para a translocação e acumulação de carboidratos recém-formados. (Grupo 3)
Cálcio	Ca ²⁺	Imóvel	É constituinte da lamela média; desempenha uma função importante na manutenção da integridade celular e permeabilidade membranar. Cofator de algumas das enzimas envolvidas na hidrólise do ATP e fosfolipídios. Ativa algumas das enzimas envolvidas na mitose, na divisão celular, e expansão celular. É também importante na síntese de proteínas e transferência de carboidratos. É um mensageiro secundário na regulação metabólica. Serve ainda como agente desintoxicante na presença de metais pesados. (Grupo 3)

Magnésio	Mg ²⁺	Móvel	Constituinte da molécula de clorofila. É um cofator para muitas enzimas envolvidas na transferência de fosfato. Estabiliza as partículas ribossomais na configuração necessária para a síntese de proteínas. (Grupo 3)
Enxofre	S-SO ₄ ²⁻	Móvel	Está envolvido na síntese de proteínas. É parte dos aminoácidos cisteína, cistina, metionina e timina. É constituinte de biomoléculas de grande importância no metabolismo energético como a coenzima A e tiamina pirofosfato; de proteção contra estresses abióticos como a glutatona e biotina; e estresses bióticos como os glucosinolatos. (Grupo 1)
Boro	BO ₃ ³⁻	Imóvel	Está envolvido em várias atividades celulares como a divisão, o crescimento, a diferenciação, a maturação a respiração entre outras. Está há muito associado à germinação do tubo polínico. Pensa-se que esteja envolvido na formação da base uracilo, constituinte do RNA. (Grupo 2)
Cloro	Cl ⁻	Móvel	Necessário para as reações fotossintéticas que envolvem libertação de oxigénio. Funciona como osmótico na manutenção da turgidez celular, como é o caso das células estomáticas. Aumenta a hidratação dos tecidos. Pode estar envolvido na defesa de certas plantas contra doenças causadas por fungos. (Grupo 3)
Cobre	Cu ⁺ , Cu ²⁺	Pouco móvel	É um constituinte da proteína plastocianina importante no transporte electrónico no cloroplasto entre os fotossistemas II e I. Participa no metabolismo das proteínas e dos carboidratos, assim como na fixação do azoto molecular (N ₂). É componente de várias enzimas como a monoamino oxidase, uricase e citocromo oxidase. Está envolvido na dessaturação e hidroxilação dos ácidos gordos. (Grupo 4)
Ferro	Fe ²⁺ , Fe ³⁺	Pouco móvel	É um componente importante em muitos sistemas enzimáticos, tais como citocromo oxidase (transporte electrónico) e citocromo. É um componente da proteína ferredoxina e é, por isso, necessário para a redução de NO ₃ e SO ₄ , assimilação do nitrogénio e produção de energia. É parte de um sistema enzimático associado à formação de clorofilas. Pensa-se que esteja envolvido na síntese de proteínas e no crescimento do ápice radicular. (Grupo 4)
Manganês	Mn ²⁺	Pouco móvel	Está envolvido nos processos de oxidação-redução do sistema de transporte electrónico da fotossíntese. É essencial no complexo de oxidação da água associado ao fotossistema II. É necessária para a atividade de algumas desidrogenases, oxidases, descarboxilases, cinases e peroxidases. Está relacionada com outras enzimas ativadas por catiões e na libertação de O ₂ . Ativa oxidases de auxinas. (Grupo 3)
Molibdênio	MoO ₄ ²⁻	Pouco móvel	Constituinte de dois grandes sistemas enzimáticos: a nitrato desidrogenase e a nitrogenase. O molibdênio é menos importante nas plantas que utilizam o amónio como fonte de nitrogénio. (Grupo 4)
Zinco	Zn ²⁺	Pouco móvel	Está envolvido nas mesmas funções enzimáticas que o manganês e o magnésio. Está associado a enzimas muito importantes como a anidrase carbónica. (Grupo 4)

Adaptado de Malavolta (1980); Marschner (1986); Taiz e Zeiger (2010).

A capacidade de remoção de um elemento dum folha depende da mobilidade desse elemento no floema. Esta mobilidade é em parte determinada pela solubilidade da forma química do elemento no tecido e em parte pela facilidade com que entra nos elementos crivosos do floema. Se um elemento é solúvel e pode ser transportado para o interior das células do floema os sintomas de deficiência aparecem em primeiro lugar e com maior intensidade nas folhas mais velhas. Se pelo contrário o elemento for relativamente imóvel, como o ferro ou o cálcio, os sintomas aparecem em primeiro nas folhas mais jovens. A tabela 4.2, mostra a capacidade de movimentação e o local de acumulação dos nutrientes essenciais (Salisbury e Ross 1992).

Tabela 4.2 Local de acumulação e transporte/redistribuição dos nutrientes e os órgãos onde os sintomas de deficiência ocorrem primeiro.

Nutriente	Locais de acumulação	Redistribuição / Sintomas visuais
Nitrogênio	Caulas e folhas jovens; gemas, sementes e órgãos de armazenamento	Móvel / Folhas velhas
Fosforo	Órgãos reprodutores (grãos de pólen)	Móvel / Folhas velhas
Potássio	Meristemas; tecidos jovens; locais de metabolismo intenso	Móvel / Folhas velhas
Cálcio	Folhas e ritidoma	Imóvel / Folhas novas e meristemas
Magnésio	Folhas	Móvel / Folhas velhas
Enxofre	Folhas e sementes	Folhas novas
Boro	Folhas e ápices caulinares	Imóvel / Folhas novas e meristemas
Cloro	Folhas	Pouco móvel / Folhas velhas
Cobre	Partes lenhificadas	Pouco móvel / Folhas novas
Ferro	Folhas	Pouco móvel / Folhas novas
Manganês	Folhas	Pouco móvel / Folhas novas
Molibdênio	-----	Pouco móvel / Folhas novas
Zinco	Raízes e caules	Pouco móvel / Folhas novas

Adaptado de Larcher (2001); Marschner (1986).

A redistribuição trata-se da transferência do elemento de um órgão ou região de acúmulo para outro qualquer. Os íons armazenados nas folhas durante os estádios de crescimento podem delas sair antes da senescência e da abscisão, sendo então redistribuídos para outros órgãos – folhas mais novas, órgãos de reserva, frutos, regiões de crescimento. Esta redistribuição (remobilização) dos elementos difere entre os nutrientes e reflete na localização dos sintomas visuais de deficiência nutricional nas plantas. Sintomas de deficiência nas folhas mais velhas correspondem a uma alta taxa de remobilização do nutriente, enquanto que nas folhas mais novas e meristemas apicais refletem uma insuficiente redistribuição. A redistribuição dá-se predominantemente pelo floema.

As plantas respondem a um fornecimento deficiente de um nutriente apresentando os sintomas de deficiência característicos. Estes sintomas, observáveis visualmente, incluem a redução do crescimento das raízes, dos caules ou folhas, e cloroses ou necroses de vários órgãos. Os sintomas permitem muitas vezes determinar as funções do elemento na planta e ajudam agricultores e silvicultores a determinar como e quando devem proceder a uma fertilização da cultura (Salisbury e Ross 1992). A maior parte dos sintomas aparecem na parte aérea da planta e são facilmente observáveis. É particularmente raro encontrarem-se plantas a sofrer devido à abundância excessiva de um dado mineral. Em muitos casos os íons que se encontram em excesso não são sequer absorvidos pelas raízes e, nalguns casos, se o são, precipitam nos vacúolos como cristais não perturbando o metabolismo celular (Mauseth 2009). No entanto, tal como acontecia em relação ao estresse de deficiência, as plantas de interesse agrícola são

mais susceptíveis devido à seleção artificial e também devido a uma fertilização excessiva. Na tabela 4.3, apresentam-se os sintomas mais comuns resultantes de situações de deficiência e excesso de nutrientes nas plantas.

Tabela 4.3 Sintomas de deficiências e excessos de nutrientes nas plantas.

Nutriente	Deficiência	Excesso
Nitrogênio	A planta aparece verde claro, com as folhas mais abaixo a secarem e a ficarem castanho claro. O crescimento da planta é lento. As plantas amadurecem precocemente e são atarracadas. Se a deficiência se declarar em estádios avançados do desenvolvimento, os caules tornam-se curtos e finos.	<p>Na forma NO_3^-: As plantas ficam verde escuro. As partes mais jovens ficam suculentas. Crescimento excessivamente rápido da parte aérea, poucos tecidos de suporte, sistema radicular pouco desenvolvido, desenvolvimento reprodutivo retardado. As plantas ficam mais susceptíveis a doenças e ao estresse da seca.</p> <p>Na forma NH_4^+: Crescimento reduzido. Lesões nos caules e folhas encurvadas para baixo. Destruição dos tecidos condutores na base dos caules. Podem ocorrer deficiências em Mg.</p>
Fosforo	O crescimento da planta é lento e as plantas ficam mais pequenas. A planta aparece verde escuro, e as folhas mais velhas desenvolvem cores avermelhadas ou arroxeadas. Se a deficiência se declarar em estádios avançados do desenvolvimento, os caules tornam-se curtos e finos.	Podem aparecer sintomas de deficiência em Zn, Fe ou Mn. Pode também haver interferência com a absorção do Ca.
Potássio	Pequenas manchas de tecidos mortos, geralmente nos ápices e entre as veias, sendo mais marcantes nas margens das folhas. Os caules são finos. As plantas ficam mais sensíveis a ataques por agentes patogênicos.	As plantas podem exibir sintomas de deficiência em Mg e possivelmente em Ca devido a um desequilíbrio catiónico.
Cálcio	As folhas jovens, ainda na gema terminal, apresentam uma forma de gancho que é típica desta deficiência. Geralmente os tecidos das margens e das extremidades morrem. Se a folha conseguir continuar a crescer, então parece ter sido cortada. O caule morre na gema terminal. Muitos frutos apresentam podridão apical.	Plantas podem exibir deficiências em Mg. Em casos mais agudos pode ocorrer também deficiências em K.
Magnésio	As folhas mais velhas ficam amareladas com cloroses entre as nervuras. O crescimento é mais lento e algumas plantas ficam mais susceptíveis às doenças.	Dá origem a um desequilíbrio catiónico com possível deficiência em Ca ou K.
Enxofre	Folhas jovens com as veias e o tecido entre elas verde claro. As folhas mais velhas vão passando do verde mais claro a amarelo à medida que a deficiência se intensifica.	Podem ocorrer senescência prematura das folhas.

Boro	Desenvolvimento anormal dos ápices (tecido meristemático); os ápices ficam mais fracos e morrem. As flores e os frutos abortam o que reduz significativamente a colheita de frutos e sementes. Os caules tornam-se quebradiços e podem mesmo quebrar-se.	Os ápices foliares e as margens ficam castanhos e acabam por morrer.
Cloro	As folhas mais jovens ficam cloróticas e as plantas murcham facilmente.	As folhas mais velhas ficam prematuramente amareladas com as extremidades e os ápices queimados. Ocorre abscisão foliar e a planta murcha facilmente.
Cobre	Folhas jovens permanentemente secas sem manchas ou cloroses marcadas. Em estádios avançados do desenvolvimento, quando a carência é aguda, os ramos ou o caule, logo abaixo do ápice, perdem a capacidade para permanecer eretos.	Desenvolvem-se sintomas de deficiência em Fe com um crescimento muito lento e as raízes podem ficar atarracadas.
Ferro	Cloroses entre as nervuras em folhas jovens e nas folhas em formação e finalmente os rebentos podem ficar esbranquiçados. Em casos mais severos toda a planta pode ficar verde claro.	As folhas mais velhas ficam acastanhadas com pequenas manchas castanhas o que pode ser um sintoma típico em certas espécies.
Manganês	Cloroses intervenhais nas folhas mais jovens enquanto que a maioria das folhas permanecem verdes. Em condições mais extremas o crescimento diminui e as plantas ficam mais pequenas.	As folhas mais velhas apresentam manchas castanhas rodeadas por zonas cloróticas.
Molibdênio	Sintomas semelhantes à deficiência em N. As folhas mais velhas e intermediárias tornam-se cloróticas e em alguns casos as margens enrolam-se. O crescimento e a formação das folhas ficam restringidos.	Deformação das folhas e coloração amarelo dourado dos tecidos da parte aérea.
Zinco	As folhas mais jovens apresentam cloroses entre as nervuras ficando com um aspecto esbranquiçado. As folhas podem ficar mais pequenas e distorcidas formando rosetas.	Desenvolvem-se sintomas de deficiência em Fe.

Adaptado de Salisbury e Ross (1992); Jones (2012).

4.2.1 Manejo da adubação

A adubação pode ser definida como a adição de elementos (nutrientes) de que a planta necessita para viver, com a finalidade de obter colheitas compensadoras de produtos de boa qualidade nutritiva ou industrial, provocando-se o mínimo de perturbação no ambiente. A adição de nutrientes ao solo por meio das adubações constitui, quando aplicada científica e racionalmente, prática fundamental para o êxito de qualquer exploração agrícola. A adubação tem como objetivo primordial manter ou aumentar no solo a disponibilidade dos nutrientes e o teor de matéria orgânica, já que a incorporação de elementos restitui aqueles perdidos pelo solo em processos de lixiviação, erosão, complexação, imobilização, fixação, volatilização e, de absorção pelas plantas (Russell e Russell 1973; Tisdale e Nelson 1975; Sanchez 1981; Thomas e Hargrove 1984).

Os princípios da adubação são provenientes de três leis fundamentais: lei da restituição, lei do mínimo e lei do máximo e de duas derivações da lei do mínimo: lei dos incrementos decrescentes e lei da interação e uma derivada da lei do máximo: lei da qualidade biológica (Voisin 1973). Os sistemas de produção de alimentos atualmente tendem a manejos mais sustentáveis, gerando demanda de pesquisas em agroecologia. As primeiras pesquisas em agricultura orgânica foram comparando o sistema orgânico e o sistema convencional, porque se pretendia comprovar que o desempenho da agricultura orgânica era igual ao da agricultura convencional. Nos dias atuais a necessidade se concentra em pesquisas que avaliem diversos fatores em sistemas orgânicos, não mais os comparando com sistema convencional (Araujo 2008). Assim a fixação biológica, a adubação verde com leguminosas constituem apresentam papel importante na substituição de fertilizantes nitrogenados. No setor agrícola, outra opção de adubação é o aproveitamento dos resíduos orgânicos, que vem se tornando cada vez mais comum, uma vez que contribui para preservação do ar, da água e do solo, além de, quando incorporados ao mesmo adequadamente, proporcionar retornos econômicos e melhoria na qualidade do solo (Tedesco et al. 1999).

No manejo da adubação da agricultura orgânica, é muito importante conhecer sua saturação por bases e o equilíbrio das bases, para proporcionar a relação adequada entre eles. Segundo Penteadó (2007) após a análise de solo, deve-se considerar que o pH em água deve estar em torno de 6,0; a CTC do solo ocupada por cerca de 65% Ca, 10% de Mg e 5% de K. Outro ponto primordial é a relação entre os nutrientes que deve ser de $Ca/Mg = 6,5:1$ $Ca/K = 12:1$; $Mg/K = 3:1$, V% em torno de 80%. Um dos métodos que pode ser utilizado para disposição dos resíduos orgânicos é a compostagem, a qual se apresenta como uma das técnicas de transformação dos mesmos em adubo orgânico, utilizando-os como fertilizante para nutrição das plantas (Matos 2005; Vergnoux et al. 2009).

Os fertilizantes orgânicos apresentam composição variável conforme sua origem, teor de umidade e processamento, antes de sua aplicação. A mineralização de nutrientes como o nitrogênio (N) e o fósforo (P), no solo, depende, principalmente, da relação carbono/nitrogênio (C/N) do material orgânico. Compostos com relação C/N inferior a 25 e C/P inferior a 200 liberam a maior parte do N e do P no primeiro ano da aplicação. Segundo Trani e Trani (2011), compostos orgânicos de relação C/N inferior a 25, liberam N no primeiro ano de cultivo. Em geral, produtos de origem animal sofrem um processo de mineralização mais acelerado do que produtos de origem vegetal, quando submetidos às mesmas condições de temperatura ambiente e umidade no solo (Pereira et al. 2015).

Malavolta (1979) observou que os aumentos no rendimento de feijão obtidos com a adição de matéria orgânica são devidos ao fornecimento de nutrientes, redução de toxidez de certos nutrientes, efeito físico no solo e efeito da microflora em geral. A matéria orgânica no solo é responsável, direta ou indiretamente, pela transformação do solo em um ambiente favorável ao crescimento das culturas. Estudos realizados por Mendes et al. (2007) indicam ser possível produzir feijão em sistema totalmente orgânico, alcançando produtividades semelhantes às obtidas no sistema convencional. No entanto, sabe-se que a aplicação sistemática de outros compostos orgânicos tem efeito sobre propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, sendo que, a aplicação de matéria orgânica e nutrientes ao solo via restos agroindustriais e compostos orgânicos, é prática comum na agropecuária, trazendo como ganhos o aumento da CTC, nitrogênio (Mantovani et al. 2005), fósforo (Rocha et al. 2004), potássio, cálcio e magnésio (Simonete et al. 2003). No setor agrícola, o aproveitamento de resíduos orgânicos gerados por estas atividades vem se tornando cada vez mais comuns, uma vez que contribui para preservação do ar, da água e do solo, além de, quando incorporados ao mesmo adequadamente, proporcionar retornos econômicos e melhoria na qualidade do solo (Tedesco et al. 1999).

O uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas depende de uma série de fatores que afetam o processo, como um todo. Esses fatores podem ser assim discriminados: Qualidade dos fertilizantes e corretivos agrícolas, além da compatibilidade entre fertilizantes e/ou corretivos; Solo; Recomendação equilibrada; Época de aplicação; Forma de aplicação ou localização e Uniformidade de distribuição. A adubação em um sistema de produção orgânico deve ter a finalidade de devolver os elementos retirados pelas plantas, pois suas reservas não são inesgotáveis, assim como aumentar lentamente a fertilidade do solo (Penteadó 2007). O manejo da adubação

orgânica deverá minimizar as perdas de nutrientes, assim como o acúmulo de metais pesados e outros poluentes. O manejo dos corretivos da acidez do solo (calcário e gesso), fertilizantes fosfatados, potássicos e micronutrientes, são bem definidos. De acordo com as necessidades dos solos e culturas estes podem ser manejados através da aplicação a lanço, na pré-semeadura como adubação corretiva; no sulco de semeadura, como adubação de manutenção e, combinação desses métodos. Para os micronutrientes a aplicação pode também ser via foliar e nas sementes.

No sistema orgânico de produção para a fertilização dos solos são usados adubos verdes, restos de colheitas, tortas e farinhas de vegetais fermentados, compostos orgânicos bioestabilizados e resíduos industriais e agroindustriais, isentos de agentes químicos ou biológicos com potencial poluente e de contaminação (Santos 2011). Fosfatos naturais e semi-solubilizados, farinha de ossos, termofosfatos, escórias e outras fontes de baixa solubilidade, rochas minerais moídas como fonte de cálcio, magnésio, fósforo, potássio e micronutrientes (sempre de baixa solubilidade) (Pereira et al. 2015). A adubação orgânica é a forma mais importante de reconstruir, de maneira física, química e biológica, os solos, principalmente quando apresentam baixo teor de matéria orgânica. Existem várias vantagens no uso de adubos orgânicos, como a melhoria na estrutura do solo, ativação microbiológica, aumentos nos teores de matéria orgânica e na resistência das plantas ao ataque de pragas e doenças, retenção de cátions (Ca, Mg e K) e efeito de proteção da umidade do solo.

4.3 Acidez/Alcalinidade do solo e sua correção

Os solos de forma geral podem apresentar limitações quanto ao estabelecimento e desenvolvimento dos sistemas e/ou agroecossistemas, em decorrência dos efeitos de alcalinidade e acidez. Com isso é necessário o conhecimento desses fatores para o estabelecimento de práticas corretivas que aumente a eficiência dos agroecossistemas e dos recursos naturais (Novais et al. 2007). Para uma melhor compreensão é importante conhecer as definições de ácido e base que se aplica no solo (ambiente de estudo). O ácido é definido como uma substância com H que em solução produz H^+ e que doa prótons, e a base são substâncias que produzem OH^- sendo uma espécie química que recebe prótons (Arrhenius 1884; Brönsted-Lowry 1923).

4.3.1 Acidez no solo

Os solos brasileiros apresentam predominância de caráter ácido com baixa disponibilidade de nutrientes. Essa acidez pode ser causada em condições naturais e em solos cultivados, sendo elas: decorrente do material de origem, da intensidade dos agentes de intemperismo, como organismo e clima, altas precipitações pluviais que contribui na remoção de bases, absorção de cátions básicos pelas culturas e exportação com as colheitas, uso de alguns fertilizantes minerais, oxidação da matéria orgânica e do enxofre, dissociação do gás carbônico, erosão do solo, dos argilominerais silicatados e não silicatados, hidrólise de alumínio e secreções de raízes das plantas, em suma, a fonte dessa acidez deve-se a presença de “grupos ácidos” com diferentes capacidades de ceder prótons (Novais et al. 2007). Algumas reações de acidificação do solo são demonstradas nas equações 1, 2 e 3.

1. Amoniacal: $2NH_4^+ + 3O_2 \rightarrow 2NO_2^- + 2H_2O + 4H^+$
2. Hidrólise de alumínio: $Al^{3+} + 3H_2O \rightarrow Al(OH)_3 + 3H^+$
3. Oxidação biológica: $CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3 \leftrightarrow H^+ + HCO_3^- \leftrightarrow CO_3^{2-} + 2H^+$

A acidez do solo é avaliada, geralmente pelo pH determinando-se a quantidade de H^+ em suspensão de solo com soluções, do ponto de vista químico o solo é considerável ácido quando apresenta pH abaixo de 6,0 (Malavolta 1979). A acidez do solo pode ser dividida em acidez ativa e potencial, e esta, por sua vez, em acidez trocável e não trocável (Figura 4.2).

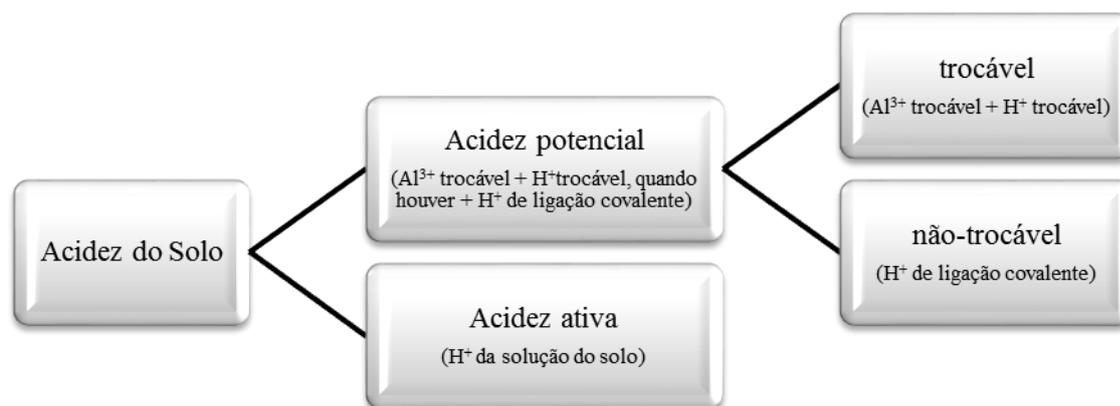


Figura 4.2 Divisão dos componentes da acidez do solo (Fonte: Lopes 1990).

A acidez ativa é relacionada à concentração de H^+ que está presente na solução do solo sendo expressa em valores de pH, a acidez potencial ($H + Al$) corresponde a soma da acidez trocável e não-trocável. A acidez trocável refere-se à quantidade de H^+ e Al^{3+} adsorvidos na superfície dos coloides do solo por forças eletrostáticas, já a acidez não-trocável é representada pelo H^+ ligada covalentemente. Para fins práticos a correção deve ser em maior parte na acidez potencial que é mais prejudicial as plantas.

4.3.2 Alcalinidade no solo

Solos de regiões áridas e semiáridas são característicos a serem alcalinos, em relação ao pH, quando maior que a faixa da neutralidade esse solo é considerado alcalino, com predominância de carbonatos de Ca e Mg e baixo teor de micronutrientes Fe, Zn, Mn, Cu e Mo e do macro nutriente P (Figura 4.3). O efeito da acidez e alcalinidade está diretamente relacionada ao pH, e esse fator tem influência na disponibilidade de nutrientes para as plantas (Malavolta 1997). Esses elementos podem ser classificados como macronutrientes e micronutrientes (Tabela 4.4). Na figura 4.3 observamos que os solos com pH menor que seis ($pH < 6$) tem predomínio de Fe, Co, Mn, Zn e Al e a absorção de macronutrientes cai drasticamente (competição com H^+). A faixa ideal de pH para a maioria das culturas está entre 6 e 6,5. E acima de 6,5 ($pH > 6,5$) há queda na absorção de micronutrientes com exceção do Mo e Cl, disponibilidade de P, N, S e B até certo nível e depois diminui, aumento de P, Ca e Mg, diminuição da acidez e Al, e aumento de OH^- na solução do solo.

Tabela 4.4 Nomes e siglas dos macronutrientes e micronutrientes.

Macronutrientes	Sigla	Micronutrientes	Sigla
Nitrogênio	N	Boro	B
Fósforo	P	Cobre	Co
Potássio	K	Cloro	Cl
Cálcio	Ca	Ferro	Fe
Magnésio	Mg	Manganês	Mn
Enxofre	S	Molibdênio	Mo
		Níquel	Ni
		Zinco	Zn

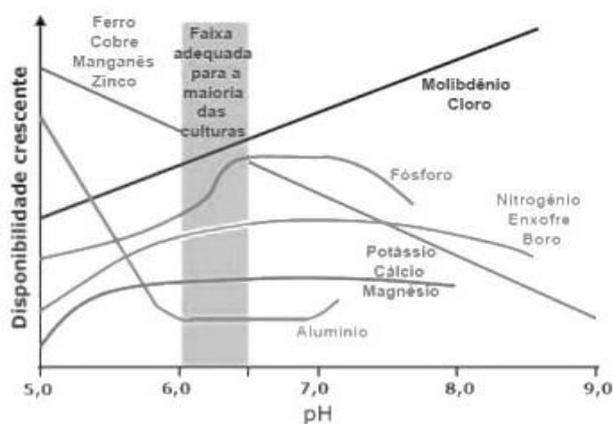


Figura 4.3 Amplitude de pH e sua relação com a disponibilidade de nutrientes e alumínio (Fonte: Malavolta 1979).

4.3.3 Como corrigir o solo?

Para que ocorra uma eficiente correção que proporcione retornos econômicos e ambientais esperados é importante seguir uma sequência, como: escolha do corretivo, método a ser utilizado, determinar a quantidade necessária, e a época e modo de aplicação do corretivo no solo (COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO 1995). Porém não esquecer que o passo inicial para a correção da acidez ou alcalinidade e adubação é a amostragem do solo.

4.3.4 Solos ácidos

Existem diversos tipos de corretivos para acidez no solo (Figura 4.4), com predominância dos carbonatos (Ca e Mg) que reagem com o hidrogênio liberando água e gás carbônico, e os óxidos e hidróxidos com mecanismo de neutralização baseado na reação da hidroxila (OH^-) com o (H^+) da solução do solo (Lopes et al. 1990).

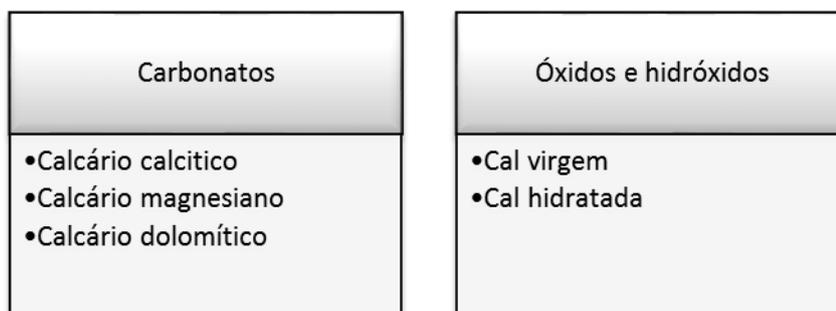


Figura 4.4 Tipos de corretivos para acidez do solo.

Existem vários métodos para quantificar um corretivo que irar ser aplicado no solo, nesta parte iremos citar três metodologias mais utilizadas no Brasil, sendo elas: a neutralização do alumínio, neutralização da acidez trocável e elevação dos teores de Ca e Mg trocáveis, e pela saturação por base. A neutralização por alumínio é um dos critérios mais simples, este método foi definido dentro do Programa Internacional de Ciência de Solos (Cate 1965).

$$NC = f \times Al^{3+}$$

Onde: NC = necessidade de calagem; $f = 1,5$ para culturas tolerantes a acidez (ex. gramíneas); e $f = 2,0$ para culturas não tolerantes a acidez (ex. leguminosas).

O segundo método tem objetivo neutralizar o Al trocável e assegurar teores adequados de Ca e Mg no solo, utiliza a fórmula (Alvarez e Ribeiro 1999):

$$NC = Y \left[Al^{3+} - \left(\frac{m \times t}{100} \right) \right] + [X - (Ca^{2+} + Mg^{2+})]$$

Onde: NC = necessidade de calagem; Y = pode variar em função do teor de argila do solo (para solos arenosos com menos de 15% de argila, valor = 1; para solos com teor de argila entre 15 e 35%, valor = 2; para solos com teor de argila maior que 35% valor = 3); m = saturação por Al tolerada pela cultura, em %; t = CTC efetiva em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$; X = plantas pouco exigentes = 1, plantas medianamente exigentes = 2, plantas exigentes = 3

Pela saturação por base adota-se um valor que se deseja (em torno de 60 a 80%), a equação é a seguinte:

$$NC = \frac{T \times (V_2 - V_1)}{100}$$

Onde: NC = necessidade de calagem (em t ha^{-1} de calcário com 100% de PRNT); V_2 = saturação de bases desejada; V_1 = saturação de bases atual, $V_1 = \left(\left[\frac{(K+Ca+Mg)}{CTC} \right] \times 100 \right)$; $T = (H + Al) + Ca + Mg + K + Na$.

Exemplo para o método de saturação por base. Adotamos empiricamente que $V_2 = 60\%$ e $V_1 = 10\%$; $T = 6,46$; PRNT do calcário é 100%:

$$NC \text{ (t/ha)} = [(60-10) \times 6,46] / 100$$

$$NC \text{ (t/ha)} = 323 / 100 =$$

NC = 3,23 t/ha de calcário.

Após a quantificação da necessidade de calagem é importante saber a qualidade do corretivo que será aplicado, a eficiência varia com a granulometria (Tabela 4.5) e com o poder de neutralizante (PN) do material. Com isso podemos calcular o poder relativo de neutralização total (PRNT) expresso na equação abaixo.

$$PRNT = \frac{PN \times ER}{100}$$

Para fins práticos o índice PRNT que caracteriza o poder neutralizante efetivo, quando se dispõe de vários calcários com diferentes valores de PRNT e preços diferenciados, deve-se escolher o corretivo mais barato por tonelada efetiva, levando em consideração o custo do frete e sua distribuição na área (aplicação).

$$\text{Preço tonelada efetiva} = \frac{100 \times \text{preço tonelada na propriedade}}{PRNT}$$

Tabela 4.5 Reatividade de calcários de acordo com sua granulometria.

Fração granulométrica		RE
Mm	Peneira ABNT	%
> 2,00	retida N° 10	0
0,84 – 2,00	passa N° 10, retida N° 20	20
0,30 – 0,84	passa N° 20, retida N° 50	60
≤ 0,30	N° 50	100

Fonte: Novais et al. (2007)

A legislação atual determina as seguintes características mínimas para a granulometria: passar 100% em peneira de 2 mm (ABNT n° 10); 70% em peneira de 0,84 mm (ABNT n° 20) e 50% na peneira de 0,30 mm (ABNT n° 50), sendo permitido tolerância de retenção de 5% na peneira de 2mm (ABNT n° 10). Para os corretivos comercializados deve atender especificações com características mínimas apresentadas na tabela 4.6.

Tabela 4.6 Características mínimas de poder de neutralização (PN) e soma dos óxidos dos principais corretivos de acidez.

Material	PN	CaO + MgO
----- % -----		
Calcários	67	38
Cal virgem agrícola	125	68
Cal hidratada agrícola	94	50
Escórias	60	30
Calcário calcinado agrícola	80	43
Outros	67	38

Fonte: Brasil (1998).

Além da qualidade do produto deve se considerados vários fatores para maximizar a eficiência da calagem, como a época de aplicação e o modo de aplicação.

- Época de aplicação: a calagem pode ser realizada em qualquer época do ano, no entanto é aconselhável a aplicação com antecedência à data do plantio e/ou adubação. Se não houve possibilidade de anteceder a aplicação pode-se utilizar corretivos com maior teor de PRNT, lembrando que para que ocorra a elevação do pH necessita umidade no solo (ver data que coincida com o período chuvoso);
- Distribuição e incorporação: é indicado espalhar o mais uniformemente possível para que toda a área receba o insumo, e incorporado em profundidade (na camada desejada) que permita o melhor contato com o corretivo e as partículas do solo (Cavalcante 2011).

4.3.5 Solos alcalinos

A correção de um solo alcalino não é tão fácil, pois consta em acidificar e a partir daí podem surgir algumas complicações. Primeiramente a grande parte dos solos alcalinos tem um grande poder tampão, ou seja, eles resistem fortemente às variações do pH, já que essas mudanças no pH são de forma rápida o solo volta a ter o valor do pH inicial. Outra parte é que esses solos contêm carbonatos de cálcio e de magnésio, onde reagirão com as adubações acidificantes e as neutralizarão, assim impedindo a diminuição do pH (Chaves et al. 1998). Nesta parte iremos comentar algumas alternativas que se pode adotar, porém lembrando que esse processo é lento.

4.3.6 Incorporar matéria orgânica

É um dos métodos mais econômicos para reduzir o pH. Ao adicionar a matéria orgânica (i.e., folhas, galhos, compostagem, turfas e resíduos vegetais) na camada arável, com a sua decomposição pelos microrganismos do solo é produzido ácidos orgânicos que dar o caráter ácido ao solo. Outra maneira é a utilização de adubos verdes que

ajudará no processo de diminuição do pH, plantando e incorporando na camada arável (Yamada et al. 2007). Salientando que o processo não é rápido e para que haja efeito deve ser adotada essa prática de forma usual.

4.3.7 Adição de enxofre elementar

O enxofre é uma fonte barata, porém com atividade lenta. O Enxofre elementar (S^0) é uma das fontes mais eficazes para a acidificação de solos com pH alcalino. Para que ocorra a reação de acidificação precisa ser oxidado a sulfato (SO_4^{2-}) principalmente pelos microrganismos, onde é metabolizado e transformado em ácido sulfúrico (dependente da umidade, quantidade de bactérias presentes e da temperatura) que neutraliza o $CaCO_3$ e aumenta a quantidade de H^+ . Este processo se dar pela produção de dois mols de H^+ para cada mol de S^0 oxidado (Silva et al. 2014).

4.3.8 Fertilizantes nitrogenados

Alguns fertilizantes podem acidificar o solo, sendo eles: sulfato de amônio, DAP, sulfato de alumínio, nitrato de amônio entre outros. Na equação 1 do item 4.3.1 observamos que ao aplicar uma fonte amoniacal em ambiente oxidativo há liberação de H^+ no solo, assim diminuído a alcalinidade (Yamada et al. 2007).

4.3.9 Leguminosas no solo

Em grande parte, as leguminosas adicionam grandes quantidades de nitrogênio no solo, em virtude desse nitrogênio sofrer nitrificação e posterior lixiviação, o nitrato lixiviado é responsável pela acidificação. As raízes também podem liberar íons (H^+ ou OH^-) em virtude da absorção de íons e cátions, quando há um desequilíbrio na absorção as plantas tendem a liberar exsudatos ricos em H^+ acidificando a zona radicular (Silveira et al. 2010).

4.4 Matéria orgânica do solo

O destino final dos resíduos orgânicos de origem vegetal, animal e dos produtos de suas transformações é o solo. Sendo que a vegetação é a principal responsável pela deposição de materiais orgânicos no mesmo, principalmente através da queda de material morto. O tipo de vegetação e as condições ambientais são os fatores determinantes da quantidade e da qualidade do material que é depositado, definindo a sua heterogeneidade e taxa de decomposição (Moreira e Siqueira 2002).

A matéria orgânica do solo (MOS) exerce grande importância na disponibilidade de nutrientes, na agregação do solo e no fluxo de gases de efeito estufa entre a superfície terrestre e a atmosfera, bem como, representa o principal compartimento de carbono na biosfera (Follet 2001). Esta apresenta uma dinâmica bastante complexa que envolve também a produtividade das plantas, produção e decomposição de resíduos, componentes

microbianos e bioquímicos que podem mudar no tempo e no espaço, dependendo de fatores bióticos e abióticos, do uso de fertilizantes, e do grau de associação com componentes inorgânicos do solo (Schnitzer e Monreal 2011).

Essa complexa e variada mistura de substâncias orgânicas, contém o elemento carbono, o qual compreende em média cerca de metade da massa das substâncias orgânicas existentes no solo. E pelo fato de conter carbono de duas a três vezes mais do que o encontrado em toda a vegetação mundial, a MOS desempenha um importante papel no balanço global do carbono, considerado como o principal fator responsável pelo aquecimento global ou efeito estufa (Brady e Weil 2013). Em solos com vegetação natural, o carbono orgânico encontra-se em equilíbrio dinâmico, apresentando teores praticamente constantes no decorrer do tempo (D'Andréa et al. 2004), mas com a implantação dos agroecossistemas, há alteração nas taxas de adição e ocorrem perdas efetivas de MOS (Nunes et al. 2011), onde, dependendo do manejo utilizado e das condições edafoclimáticas da área, pode-se atingir um novo equilíbrio (Ebeling et al. 2008; Loss et al. 2007). Assim, o manejo que é adotado nos sistemas agrícolas exerce grande influência nos estoques de MOS, podendo diminuir, manter ou aumentar esses estoques comparando à vegetação nativa (Bayer et al. 2000; Liu et al. 2003; Khorramdel et al. 2013).

4.4.1 Processo de decomposição nos solos

A quantidade de matéria orgânica do solo (MOS) é determinada a partir do equilíbrio entre a entrada de resíduos orgânicos ao solo e a saída de CO₂. O que controla a ciclagem da MOS são as taxas de deposição, decomposição e renovação dos resíduos, que ocorrem de forma dinâmica (Mulvaney et al. 2010), a qual é resultante da interação de um grande número de fatores reguladores como clima e composição do material vegetal (teor de lignina, polifenóis, relação C/N/P/S) (Novais 2007). Entre os fatores climáticos, os principais que influenciam a taxa de decomposição da MOS são a umidade e temperatura, pois, geralmente, com o aumento da umidade do solo e da temperatura, as taxas de decomposição são maiores (Costa e Sangakkara 2006). Nos Agroecossistemas, os estoques de MOS podem ser influenciados também pelas práticas de manejo que são adotadas e assim como pelas condições do solo (textura, mineralogia, fertilidade, etc.) (Lal 2004; Rangel et al. 2008; Caride et al. 2012).

Os resíduos vegetais são as principais fontes de matéria orgânica. Seus compostos orgânicos podem ser agrupados em algumas grandes categorias, as quais são carboidratos, que variam em complexidade desde açúcares simples até amidos e celulose, e geralmente são os compostos vegetais orgânicos mais abundantes; as ligninas e os polifenóis que são visivelmente resistentes ao processo de decomposição; e as proteínas que contêm cerca de 16% de nitrogênio e se decompõem facilmente. O resíduo orgânico passa por um ataque inicial realizado pelos componentes da mesofauna do solo, tais como as oligoquetas, térmitas, formigas, entre outros (Pinheiro 1996), paralelamente, ocorrem transformações conduzidas por enzimas extracelulares produzidas por microrganismos ou exsudados radiculares (Stevenson 1994). Nessa fase inicial da biodegradação, há rapidamente a perda dos compostos orgânicos prontos para serem decompostos (i.e., açúcares, proteínas, amido, celulose, etc), sendo as bactérias são especialmente ativas nesta fase de decomposição. Posteriormente, os produtos orgânicos intermediários e protoplasma microbiano formados recentemente, são biodegradados por uma grande variedade de microrganismos, com a produção de nova biomassa e liberação de CO₂. Para finalizar o processo, no último estágio ocorre a decomposição gradual de compostos mais resistentes, a qual é realizada pela atividade de actinomicetos e fungos (Sastriques 1982).

Conceitualmente, existem dois processos de transformação da matéria orgânica do solo, são estes a degradação ou mineralização e a humificação. No processo de mineralização, os microrganismos envolvidos consomem de 70 a 80% do material orgânico, o qual é transformado em CO₂ e H₂O, e os 20 a 30% restante são compostos fenólicos e compostos lignificados parcialmente transformados que darão origem às substâncias húmicas (Figura 4.5). Sendo assim, o material originado do processo de decomposição pode ser dividido em dois grupos

fundamentais. O primeiro são as substâncias não húmicas, caracterizadas por compostos bem definidos quimicamente, de baixo peso molecular (proteínas, aminoácidos, carboidratos simples e complexos, resinas, álcool, auxinas, aldeídos e ácidos aromáticos e alifáticos). O segundo é representado pelas substâncias húmicas propriamente ditas, as quais constituem de 85 a 90% da reserva total do carbono orgânico (Kononova 1982). Os produtos que são formados associam-se em estruturas complexas de maior estabilidade, elevado peso molecular e coloração escura (Brady e Weil 2013).

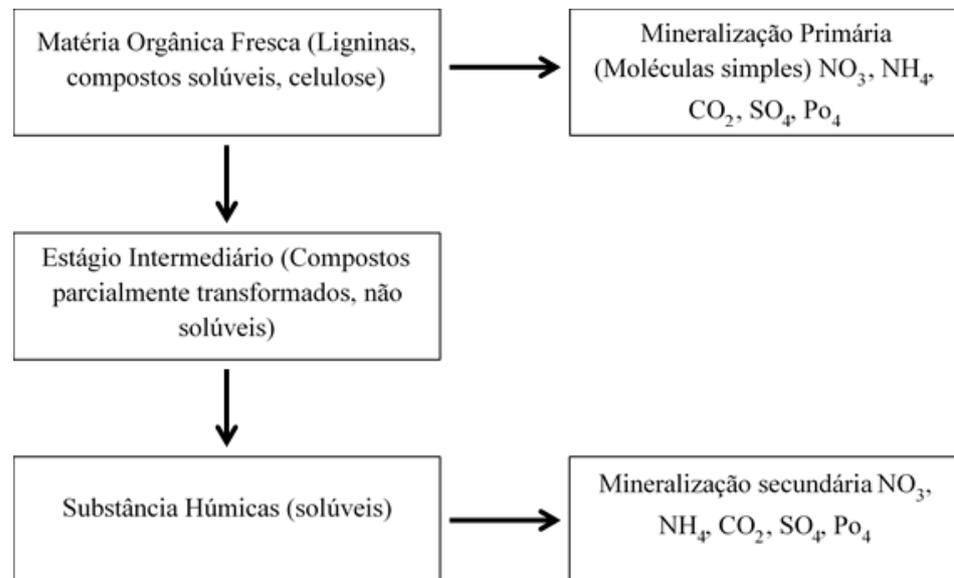


Figura 4.5 Estágios simplificados da decomposição da Matéria Orgânica do Solo. Adaptado de Silva e Silva (dados não publicados) por Lima (2017).

As SH são separadas de acordo com suas características de solubilidade, classificadas como: Ácido Fúlvico, fração solúvel em meio alcalino e em meio ácido diluído; Ácidos Húmicos, fração solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio ácido ($\text{pH} < 2$); e Humina, fração insolúvel em qualquer condição de pH. Estas substâncias são quimicamente constituídas, sobretudo, por polissacarídeos, aminoácidos, compostos fenólicos, etc. Apresentam um alto conteúdo de grupos carboxílicos e peso molecular relativamente baixo. Combinam-se com óxidos de Fe, Al, argilas e outros compostos orgânicos. Possuem propriedades redutoras e formam complexos estáveis com Fe, Cu, Ca e Mg.

4.4.2 Propriedades do solo influenciadas pela matéria orgânica

A MOS, constitui-se base fundamental para a produtividade agrícola sustentável e pode ser considerada um importante indicador da qualidade do solo, pois exerce influência sobre as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Podendo contribuir para infiltração, retenção de água, estruturação e susceptibilidade do solo à erosão, atuando também em outros atributos como a capacidade de troca de cátions (CTC), ciclagem de nutrientes, complexação de elementos tóxicos do solo e estimulação da biota do solo e, sendo considerada como fonte de nutrientes às plantas (Conceição et al. 2005; Ungera et al. 1991). Em relação às condições físicas do solo as

influências mais evidentes da MOS são: aumento da capacidade de retenção de água no solo, contribuindo para o desenvolvimento radicular, principalmente em regiões com riscos de veranicos; melhor estabilidade dos agregados e diminuição do escoamento de água superficial, reduzindo os riscos de erosão, bem como a estabilização da temperatura do solo que favorece as plantas (Conceição et al. 2005). Referente ao seu papel como condicionadora química do solo, a MOS, as propriedades influenciadas são a CTC, pH, condutividade elétrica (CE), ciclagem de nutrientes e complexação de elementos tóxicos do solo. Além disso, também deve ser considerada como fonte de nutrientes no solo através da decomposição do material orgânico, pois este é resultado da mineralização dos nutrientes dos tecidos das plantas (Conceição et al. 2005; Pavinato e Rosolem 2008).

O teor de MOS pode ser utilizado na identificação da fertilidade do solo, pois o aumento nos seus estoques é a base principal para adoção de medidas agrônomicas relacionadas a sua melhoria. A MOS exerce a determinante função de fornecer um número significativo de sítios de ligação para elementos essenciais presentes no solo, contribuindo para o aumento da CTC e melhor eficiência de utilização dos nutrientes (Costa e Sangakkara 2006). Entre os efeitos da MOS relacionados a biologia do solo, pode-se destacar a estimulação da biota do solo, por esta fornecer nutrientes e energia para atividade desses organismos, sendo este também um papel essencial, pois os resíduos orgânicos da superfície do solo exercem um efeito direto sobre a dinâmica dos microrganismos do solo. Além da função primordial dos microrganismos edáficos no funcionamento dos ecossistemas, a biomassa microbiana também é considerada um reservatório de nutrientes de ciclagem rápida, podendo ser associada com a fertilidade (Moreira e Malavolta 2004). Devido a esses efeitos diretos e indiretos sobre as propriedades do solo aqui apresentados, a MOS exerce forte influência também sobre a capacidade produtiva do mesmo. Porém, há uma dificuldade em se quantificar o carbono orgânico do solo (COS) relacionando-o à estabilidade e produtividade dos sistemas agrícolas (Lal 2004). Mas, sabe-se que a manutenção do COS é essencial para sustentabilidade da agricultura, pois os aumentos nos seus teores, geralmente, acarretam a uma maior produtividade das culturas, bem como no aumento na eficiência de utilização dos nutrientes (Lal 2004; Malhi et al. 2011; Paul et al. 2013).

4.5 Macronutrientes

4.5.1 Nitrogênio

O nitrogênio é o elemento químico mais abundante na atmosfera, e contribui com cerca de 78% da composição da atmosfera terrestre, capaz de formar muitos compostos e tem elevada capacidade de realizar ligações químicas. A atmosfera terrestre é a principal reserva de nitrogênio que é encontrado na forma de N_2 , apesar de não ser absorvido diretamente pelas plantas e animais. Quanto à absorção desse elemento, os animais absorvem o nitrogênio na forma de compostos orgânicos (aminoácidos e proteínas) enquanto as plantas absorvem-no sob a forma de íons nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) (Martins et al. 2003). No solo o nitrogênio está presente na matéria orgânica no qual aproximadamente 2% do teor encontrado está sob a forma de NO_3^- , sendo esta forma prontamente disponível para absorção dos vegetais. Porém, o nitrogênio também pode ser encontrado de outras formas no solo, como sob a forma de nitrogênio elementar (N_2) assim como também em formas inorgânicas como o óxido nitroso (N_2O), o óxido nítrico (NO), nitrogênio amoniacal ou amônia (NH_4^+) e nitratos (NO_3^-) (Ribeiro e Vilela 2007). No compartimento solo, a quantidade de nitrogênio armazenado é estimada entre 0,05 a 0,5%, estando esse valor ligado a diversos compostos orgânicos e que menos de 5% dessa quantidade está sob as formas inorgânicas como amônio e nitrato (Whithölter 2000).

Em sistemas agrícolas, as fontes de nitrogênio se dão através da deposição atmosférica (Carvalho Junior 2004), da adubação nitrogenada, fixação biológica do nitrogênio atmosférico (Schlesinger 1997) e da mineralização do nitrogênio orgânico do solo (Bustamante et al. 2004). No entanto, as perdas desse elemento estão relacionadas com erosão, lixiviação, remoção pelas colheitas e desnitrificação (Sisti et al. 2004; Diekow et al. 2005).

A disponibilidade do nitrogênio para absorção dos vegetais está interligada a alguns fatores como o tipo de solo (Thomsen et al. 2000), a quantidade da matéria orgânica do solo (Amado et al. 2001), além das características dos resíduos orgânicos (Trinsoutrot et al. 2000), da temperatura, umidade e aeração do solo (Sierra e Marbán 2000). A concentração de nitrogênio, bem como a composição bioquímica dos resíduos orgânicos são fatores categóricos na mineralização ou imobilização desse elemento no solo (Glasener et al. 2002; Marquez et al. 2000; Mary et al. 1996). Como forma de incremento de nitrogênio no solo, a utilização de espécies leguminosas em sistemas de rotação cultura é uma boa estratégia (Diekow et al. 2005; Lovato et al. 2004; Sisti et al. 2004), outra alternativa que pode ser empregada é substituição do nitrogênio em forma de fertilizante pela fixação simbiótica que libera gradativamente o nitrogênio e desse modo reduz a emissão de N_2O (Amado et al. 2001) (Figura 4.6).

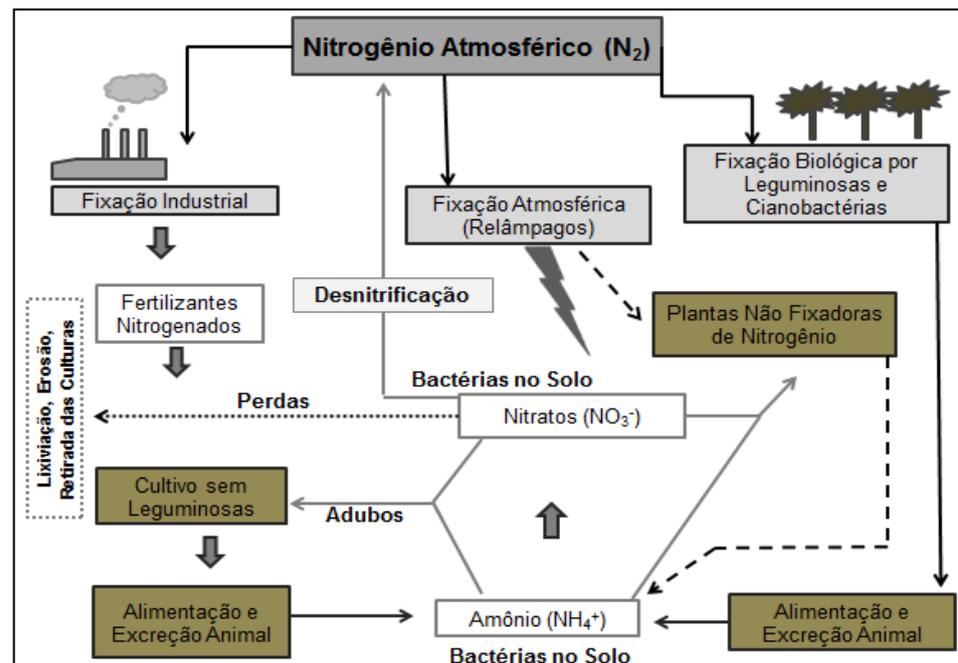


Figura 4.6 Ciclo do Nitrogênio. Adaptado de Martins et al. (2003).

A taxa de nitrogênio que é reciclado ao sistema pode variar de 10 a 20 vezes mais do que a quantidade que é aportado (Schlesinger 1997). A mobilização do nitrogênio no solo é baixa, porém com a redução da mineralização da matéria orgânica, o nitrogênio tende a se disponibilizar através do aumento da imobilização pela biomassa microbiana (Vargas e Scholles 1998). O teor de nitrogênio retido na biomassa microbiana pode chegar a 5% da fração total do solo (Anderson e Domsch 1980), e em cerca de três meses o nitrogênio é decomposto dos tecidos da biomassa microbiana liberando-o para o solo em sua forma assimilável pelos vegetais (Paul e Clark 1989). Esta quantidade do elemento é de fácil mineralização, que associado a outros compostos como, aminoácidos e açúcares formam o nitrogênio potencialmente mineralizável do solo (Schnier et al. 1987; Mengel 1996).

4.5.2 Fósforo (P)

O fósforo também é um dos nutrientes essenciais para manutenção dos ciclos animais e vegetais (Novais e Smyth 1999), e a quantidade desse elemento contido no material de origem do solo encontra-se na forma de mineral, em sua grande maioria nas rochas apatitas (fosfatos de cálcio) e sua distribuição nos solos está relacionado ao intemperismo (Frossard et al. 1995). Em grande parte dos solos a quantidade de fósforo disponível na solução do solo para as plantas é muito baixa, o que pode ser contabilizado em cerca de 0,01% do fósforo total do solo, e a maior parte desse elemento está contido em três grupos, como o fósforo orgânico, o fósforo inorgânico à moléculas de cálcio (predominantes em solos alcalinos) e fósforo inorgânico ligado a moléculas de ferro e alumínio (predominantes em solos ácidos) (Brady e Weil 2013). O fósforo na forma orgânica é encontrado quando a quantidade de matéria orgânica é elevada e o pH está baixo, enquanto que o fósforo inorgânico depende do pH, na faixa que varia entre 4 e 8 há uma maior concentração de H_2PO_4^- que responde pela principal forma de absorção desse elemento pelas plantas. O fósforo quando dissolvido na solução do solo é encontrado como íons ortofosfatos, ou uma derivação do H_3PO_4 (Figura 4.7) (Klein e Agne 2012).

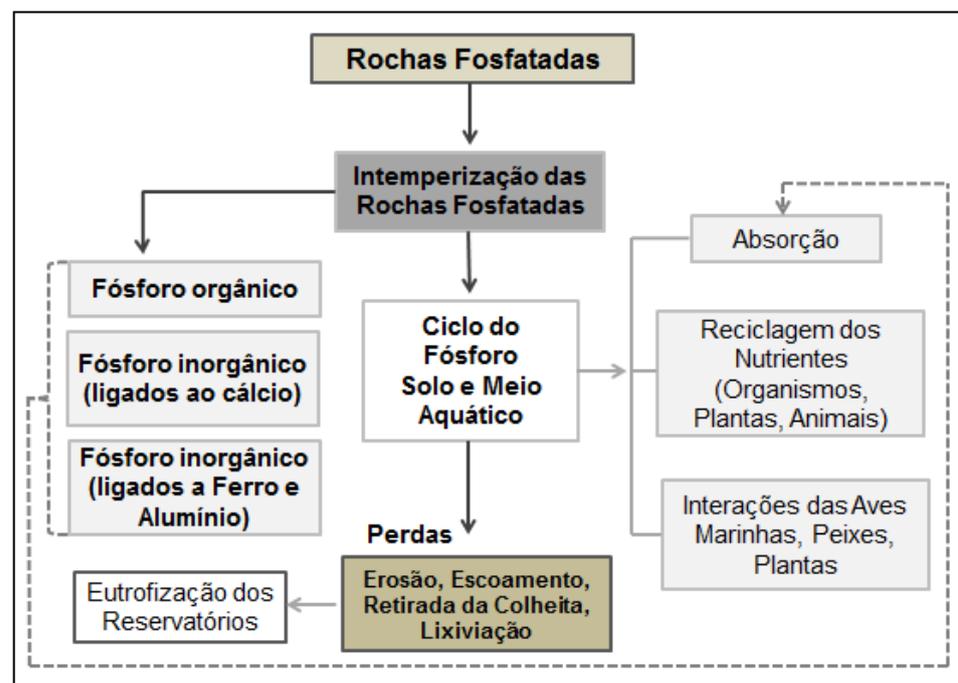


Figura 4.7 Ciclo do fósforo no solo. Adaptado de FROSSARD et al., 1995; BRADY; WEIL, 2013; Stevenson, 1994).

Tanto o fósforo orgânico quanto o inorgânico presentes no solo são importantes para os vegetais, é sabido que a fração orgânica é responsável por cerca de 20 a 80% do fósforo total do solo nos horizontes superficiais. Embora nas camadas mais profundas do solo é possível conter grandes quantidades de fósforo na forma inorgânica, a exemplo dos fosfatos de cálcio, especialmente em regiões de áridas e semiáridas (Brady e Weil 2013). O ciclo do fósforo no solo envolve as interações entre animais, plantas e microrganismos, que incluem os processos de absorção e reciclagem dos resíduos orgânicos pelos animais e vegetais, além da reciclagem pelos microrganismos através dos processos de mineralização-imobilização, reações de sorção das argilas e oxidróxidos e da solubilização de fosfatos por plantas e microrganismos (Stevenson 1994). O fósforo no solo se movimenta muito lentamente na grande

maioria dos solos, suas perdas por lixiviação são quase imperceptíveis e seu deslocamento se dá através da difusão que depende da umidade do solo. As principais formas de perda de fósforo do solo são através da erosão (0,1 a 10 Kg/ha/ano), pela remoção das culturas (5 a 50 Kg/ha/ano), o fósforo dissolvido na água de enxurrada (0,01 a 3 Kg/ha/ano) e por lixiviação (0,0001 a 0,4 Kg/ha/ano). Em solos arenosos com presença de lençol freático raso e com práticas de adubação a base de esterco, o fósforo orgânico dissolvido na solução do solo pode ser perdido pela lixiviação e transportado para reservatórios subterrâneos se acumulando e contribuindo para eutrofização (Brady e Weil 2013). Embora seja pouco móvel no solo, a absorção do fósforo pode ser comprometida em solos compactados, isso devido à resistência mecânica imposta pela redução da porosidade que dificulta a absorção pelas raízes, além de adsorver o fósforo nos colóides do solo (van Raij 1991). Entretanto, o fósforo ainda pode ser encontrado no solo de outras formas, como ilustrado abaixo na Tabela 4.7, segundo van Raij (1991).

Tabela 4.7 Formas de fósforo encontradas no solo. Adaptado de (van Raij 1991).

Fósforo	Disponibilidade no Solo
Fixado	Inorgânica, adsorvido fortemente e ligado a moléculas de Al, Fe e Ca dos minerais de argila.
Disponível	Inorgânica, fracamente adsorvido ou presente na solução do solo
Solúvel	Inorgânica, disponível as plantas nas formas H_2PO_4 , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}
Orgânico	P que está ligado aos compostos orgânicos como ácidos nucleicos, fosfolípidios.

O fósforo é o elemento de maior limitação na produtividade em solos de regiões tropicais (Novais e Smyth 1999), e no Brasil os solos são deficientes em fósforo devido seu material de origem e da forte ligação desse nutriente com o solo (Raij 1991), que se encontra em menos de 0,1% disponível na solução do solo (Fardeau 1996). A matéria orgânica é uma das principais características que influenciam na adsorção do fósforo no solo (Gonçalves et al. 1985), uma vez que essa interage com moléculas de óxido de ferro e de alumínio reduzindo os sítios de fixação do fósforo ou formando compostos presentes na solução do solo (Fontes et al. 1992; Afif et al. 1995; Andrade et al. 2003). Na introdução de fósforo no solo por meio de adubação, o P na forma inorgânica tem baixa solubilidade na água, porém apresenta elevada ligação com as partículas de solo (Klein e Agne 2012). Um fator fundamental na solubilização do fósforo são os vegetais, especialmente o fósforo não-lábil, tendo em vista que algumas espécies têm maior capacidade de solubilização através da exsudação das raízes, e que agem na dissolução dos colóides do solo liberando maiores quantidades de fósforo para a solução do solo (Chien e Menon 1995).

O teor de fósforo em grande parte dos solos é cerca de 200 a 300 mg/Kg, e desse valor menos de 0,1% está disponível na solução do solo. Mas as variações nos tipos de solos diferem na eficiência de utilização do fósforo pelos vegetais, no que diz respeito aos processos de adsorção (Fardeau 1996). O termo fixação de fósforo se refere ao mecanismo de adsorção que se formam através de ligações covalentes ou eletrostáticas ou também pela formação de compostos insolúveis que posteriormente indisponibilizam o fósforo para absorção pelas raízes (Alcarde et al. 1991). Alguns pesquisadores afirmam que a matéria orgânica pode reduzir ou aumentar o teor de fósforo adsorvido no solo. Segundo Aquino (2004) e Silva et al. (1997), a redução do fósforo pode estar relacionado a alguns aspectos como a ação do ácido carbônico sobre a solubilização de minerais que contém esse elemento, à formação de complexos de húmus que ajudam na absorção de fósforo, ao aumento da competição dos sítios de adsorção de fósforo pelos ânions orgânicos e fosfatos e também pela formação de camadas de húmus que revestem moléculas de óxidos de ferro e alumínio reduzindo assim o poder de adsorção desses óxidos no solo (Moreira et al. 2006).

4.5.3 Potássio (K)

O potássio é um macronutriente essencial para algumas funções dos vegetais como crescimento, desenvolvimento e maturação de frutos e grãos, além de ser um regulador da atividade celular que promove a síntese de proteínas e carboidratos (Meurer 2006).

A maior parte de potássio presente no solo está na estrutura dos minerais primários como as micas (biotita e muscovita), e feldspatos potássicos, assim como em minerais secundários. Com a intemperização desses minerais, as estruturas mais rígidas dos minerais se tornam mais flexíveis, ao exemplo das argilas do tipo 2:1, as micas, que ao longo do tempo são disponibilizadas primeiramente na forma de potássio não-trocável e mais lentamente nas formas mais solubilizadas na solução do solo ficando prontamente absorvíveis (Brady e Weil 2013).

O potássio encontra-se no solo nas formas estrutural, não-trocável, trocável e na solução do solo, e sua concentração na solução do solo geralmente é muito baixa, podendo conter de 1 a 10 mg/L e quando comparado a quantidade total desse elemento no solo esse valor decresce para cerca de 0,1 a 2% do potássio total do solo (Mengel e Kirkby 1987; Tisdale e Nelson 1993). O potássio está presente na solução dos solos como um cátion K^{2+} , mas não se comporta como outros nutrientes que formam gases e são perdidos para a atmosfera, sua presença nos solos está diretamente relacionada com a capacidade de troca de cátions e do intemperismo dos minerais (Brady e Weil 2013).

As ligações que o potássio forma no solo origina várias formas de K disponíveis no solo, que serão descritas a seguir (Brady e Weil 2013)

- Potássio total: representa o somatório de todas as formas em determinado solo, varia muito para cada tipo de solo bem como de acordo com o material de origem, do intemperismo e da decomposição mineralógica.
- Potássio estrutural: é a forma com maior quantidade de potássio no solo, onde esse elemento faz parte da estrutura dos minerais primários e/ou secundários e só após sua intemperização se tornam disponíveis.
- Potássio trocável: a forma trocável envolve a fração ligada às cargas negativas das camadas das frações orgânicas e inorgânicas do solo, representa a parte de maior importância para a nutrição vegetal por recompor de maneira rápida a fração retirada da solução do solo ou por perda de lixiviação.

Potássio Não-Trocável: a fração estrutural que se dissolve com maior facilidade em meio ácido em adição ao potássio fixado nas entre camadas de argilas do tipo 2:1 (Ilita e Vermiculita) (Rick et al. 1989; Villa et al. 2004). O potássio é encontrado em maiores quantidades em grande parte dos solos exceto em solos com presença de material quartzoso. Embora a quantidade de potássio que está retido em formas trocáveis pode ser muito baixa, sendo que a maior parte está retido nos minerais primários ou fixado em formas pouco disponíveis para absorção das raízes (Brady e Weil 2013). O potássio apresenta boa mobilidade no solo, embora alguns fatores influenciem na disponibilidade desse elemento no solo, como por exemplo, a morfologia do sistema radicular, a demanda de cada espécie, alguns parâmetros cinéticos de absorção (concentração na solução e velocidade de absorção), a umidade e temperatura do solo (o aumento da temperatura e umidade favorece a absorção do potássio, pois a água facilita o transporte do elemento). Quanto às perdas de potássio, esse elemento é facilmente perdido por lixiviação principalmente em solos arenosos ou que apresentem baixa capacidade de troca de cátions (CTC) (Melo et al. 2009). O potássio se movimenta no solo através da difusão (Malavolta et al. 1997). No ciclo do potássio, este elemento é absorvido pelos vegetais em grandes quantidades, e dependendo do ecossistema analisado, grande parte é lixiviado das folhas durante a precipitação e outra parte retorna ao solo através dos resíduos orgânicos, principalmente pela urina de animais que se alimentam da vegetação (Figura 4.8). Quanto às perdas, desse elemento pode ocorrer através da erosão, por lixiviação e escoamento superficial (Brady e Weil 2013).

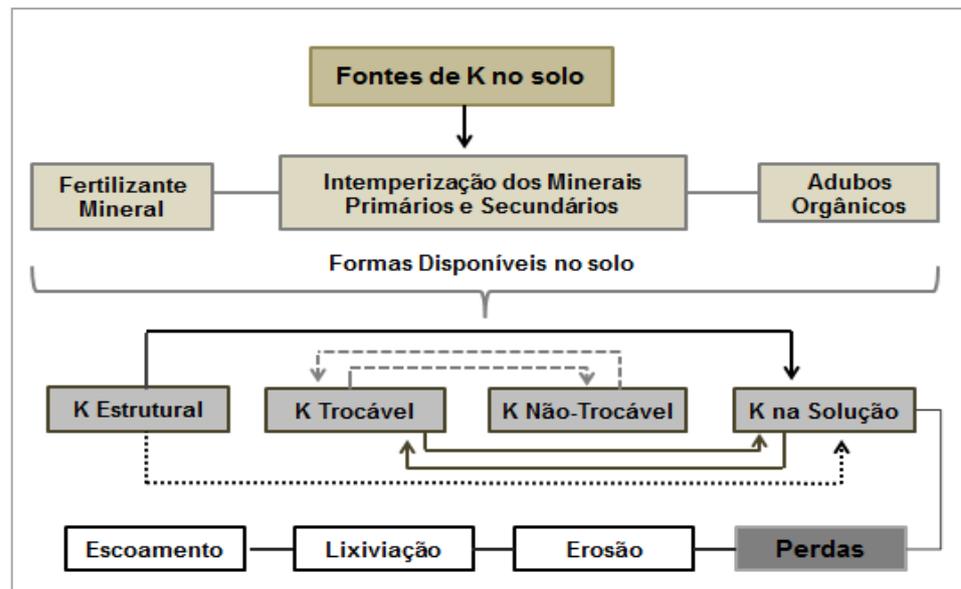


Figura 4.8 Ciclo do potássio. Adaptado de Rick et al. (1989), Villa et al. (2004)

4.5.4 Magnésio (Mg)

O magnésio encontrado nos solos tropicais é consequência dos processos de formação dos solos pela solubilização dos minerais primários. A presença desses minerais se deve aos processos de formação dos solos através do intemperismo, e esses minerais resultam da forte dependência do material de origem, do tempo, dos organismos, do clima e relevo. No Brasil, devido à grande variação dos tipos de solo encontram-se teores contrastantes de magnésio nos diferentes ecossistemas, podendo ocorrer altos valores em solos de região semiárida provenientes de rochas calcárias, enquanto que em outras regiões mais intemperizadas que apresentam solos profundos observam-se valores muito baixos de magnésio (Benites et al. 2015). Uma das principais fontes de magnésio prontamente disponíveis para absorção está presente nos complexos argila-húmus, desse modo, com a retirada pelas plantas e também através da lixiviação, o teor de magnésio que é facilmente trocável é novamente abastecido pela intemperização dos minerais do solo, a exemplo de minerais como a biotita, a dolomita e hornblenda. Mas também em alguns solos o reabastecimento de magnésio pode ocorrer através das argilas do tipo 2:1, dos compartimentos de magnésio que estão lentamente disponíveis, bem como de quantidades que são decompostos de resíduos orgânicos (Brady e Weil 2013).

Segundo Marschner (1995), alguns macronutrientes podem reduzir a absorção de magnésio pelas raízes, como o potássio e o cálcio que competem efetivamente pelos complexos de troca na solução do solo e na superfície dos colóides. O magnésio se assemelha ou até mesmo pode ser inferior ao cálcio quando se refere a sua absorção pelas plantas. Em solos muito arenosos e de baixa capacidade de troca catiônica, a quantidade de magnésio recai (Brady e Weil 2013). A movimentação do magnésio no solo para as raízes é através do fluxo de massa (Marschner 1995), e por interceptação radicular e sua absorção pelas raízes se dá na solução do solo na forma de íon (Mg^{2+}) (Souza et al. 2007). Esse elemento é o componente essencial da clorofila responsável pela realização da fotossíntese, além de participar como ativador em diversas enzimas, e estar diretamente relacionado com o transporte do fósforo para o interior das células (Figura 4.9) (Marschner 1995).

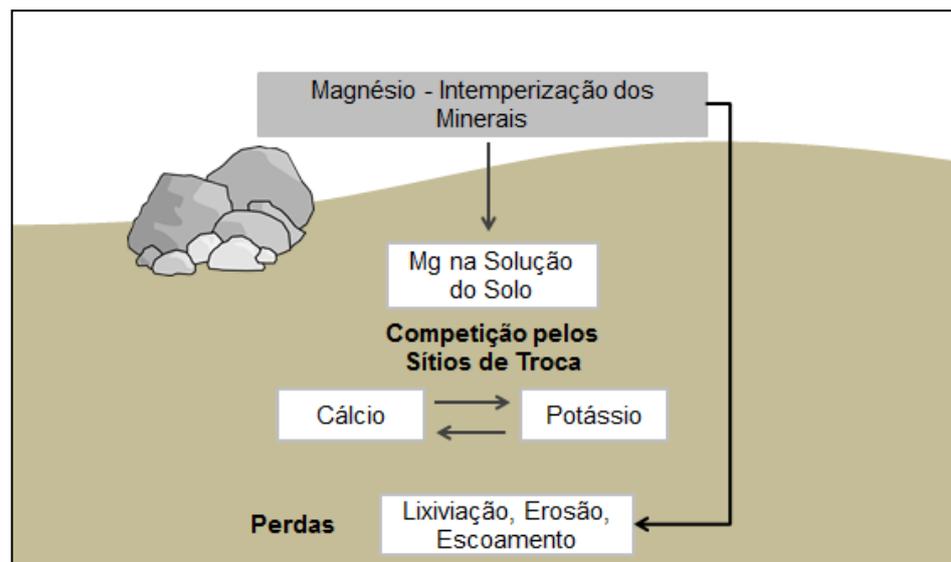


Figura 4.9 Disponibilidade de magnésio no solo. Adaptado de Marschner (1995).

4.5.5 Cálcio (Ca)

O cálcio presente no solo é proveniente do intemperismo de rochas ígneas que podem conter alguns minerais como apatita, anfibólios, calcita, dolomita e feldspatos cálcicos que também podem derivar de rochas sedimentares e metamórficas (Ribeiro e Vilela 2007). O cálcio no solo pode estar presente em três compartimentos da solução do solo, dentre elas nos minerais que contêm cálcio (calcita e plagioclásio), o cálcio complexado nos húmus do solo e o cálcio retido nos colóides do solo e das argilas e húmus (Brady e Weil 2013). Geralmente o cálcio tem baixa concentração nos solos, principalmente em solos com caráter ácido, como alguns solos brasileiros (Marschner 1995; White 1998). De acordo com Moreira et al. (1999), o cálcio em grande quantidade no solo pode influenciar na redução dos teores de potássio. O cálcio participa de diversas funções dentro da planta, como por exemplo, nas funções osmóticas, estruturais da célula e como mensageiro citoplasmático (Marschner 1995; White 1998).

Alguns nutrientes no solo podem indicar processos de acidificação, como é o caso da relação entre cálcio e alumínio (Cronan e Grigal 1995). Mas existem outras relações ligadas ao elemento cálcio e que gera maiores discussões, como a relação cálcio e magnésio, isso se explica devido a competição entre os sítios de absorção no solo pelo cálcio e magnésio (Moreira et al. 1999). O cálcio se movimenta no solo através do fluxo de massa até as raízes, mas também pode ocorrer a interceptação radicular em função da sua baixa mobilidade no solo (Malavolta et al. 1997). A ciclagem desse elemento nos compartimentos do solo é obtida através da absorção das raízes, pela deposição atmosférica (poeira e fuligem), assim como também por práticas de manejo como a calagem, enquanto que suas perdas são pela lixiviação. Em regiões áridas e semiáridas, solos com pH elevado e com predomínio de carbonatos na solução do solo influenciam na solubilização do cálcio que está contido nos minerais (Brady e Weil 2013).

Em solos ácidos o cálcio é perdido em grande parte por lixiviação (Ribeiro e Vilela 2007). Mas também pode ser retirado pelas culturas ou perdido pela erosão das partículas de solo. Em regiões úmidas, a liberação do cálcio pela ação do intemperismo dos minerais não é suficiente para repor as perdas desse elemento, além de que a chuva ácida em conjunto com a extração de madeira em excesso pode acelerar as perdas e contribuir para o

esgotamento das reservas de cálcio nos reservatórios e bacias hidrográficas, especialmente em solos que apresentam baixo poder tampão (Figura 4.10) (Brady e Weil 2013).

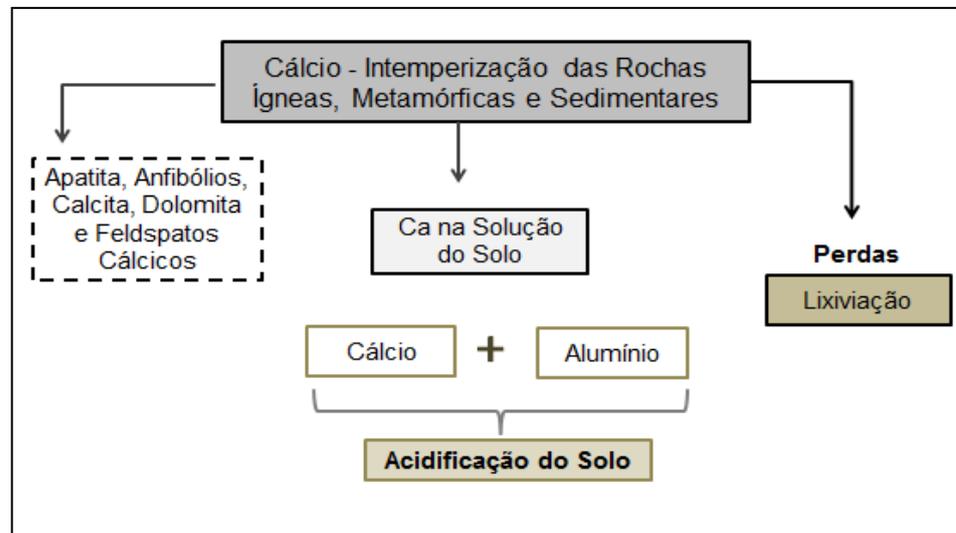


Figura 4.10 Disponibilidade de Cálcio no solo. Adaptado de Cronan e Grigal (1995).

4.5.6 Enxofre

O enxofre é um dos elementos mais abundantes no solo após o nitrogênio e o silício. Esse elemento é relacionado juntamente com o nitrogênio, o fósforo e o potássio como nutriente fundamental e essencial ao desenvolvimento das culturas (Stipp e Casarin 2010). Sua entrada no solo ocorre através da ação do intemperismo dos minerais sulfatados, pela deposição atmosférica (poeira), através da precipitação e/ou irrigação, bem como pela adubação com fertilizantes e pesticidas (Alvarez et al. 2007). Além disso, também podem contabilizar as deposições de erupções vulcânicas ou por rochas sedimentares, também é possível encontrar enxofre em gás natural, no petróleo ou no carvão sob a forma de compostos orgânicos (Stipp e Casarin 2010).

Outra fonte de enxofre está contida na fração argila de alguns solos que apresentam grande quantidade de óxidos de ferro e de alumínio, no qual essas argilas conseguem adsorver o sulfato presente na solução do solo e posteriormente são liberados através da troca de ânions, principalmente em solos com baixo pH (Brady e Weil 2013). A incorporação do enxofre na sua forma de gás é dependente da região e da época do ano (Jordan e Ensminger 1958), o que pode ser inferido uma maior quantidade em áreas urbanas e industriais, seja pela deposição atmosférica (poeira) ou pela precipitação (Alvarez et al. 2007). De acordo com Ozorio Filho et al. (2007), a deposição de enxofre pela água da chuva pode alcançar teores consideráveis, até mesmo ser capaz de suprir as necessidades das culturas ou mesmo se acumular no solo. Segundo Stipp e Casarin (2010), o enxofre participa diretamente de vários compostos nas plantas, como formação de aminoácidos e proteínas, alcaloides, coenzimas, flavonoides, glucosinolatos, lipídios, nucleotídeos, polissacarídeos, sulfolipídeos, compostos reduzidos e não saturados.

As formas inorgânicas do enxofre mais comuns no solo são os sulfetos e os sulfatos. Os sulfetos são mais comuns em regiões úmidas, mas que apresentem solos com pouca drenagem, são oxidados e transformados em sulfatos que são solubilizados rapidamente, a exemplo do SO_2^- absorvido facilmente pelas raízes. Enquanto os sulfatos são mais comuns em regiões com baixa precipitação, onde esses elementos se acumulam nas camadas mais superficiais do solo, além de acumularem em forma de sais neutros em solos de regiões áridas e semiáridas. Podem

ocorrer problemas de acidez extrema no solo por conta da grande quantidade de enxofre que é disponibilizado pela oxidação (Brady e Weil 2013). Entretanto, a saída ou perda de enxofre no solo pode ocorrer pela erosão, por lixiviação, pelas práticas de queimadas e emissões de gases com base em sulfatos, assim como também pelas retiradas das culturas (Alvarez et al. 2007). Devido à baixa capacidade de retenção no solo, o enxofre apresenta um elevado potencial de perda por lixiviação no qual grande parte do SO_4^{2-} que se encontra retido temporariamente no solo pode ser perdido por meio de repetidas extrações com água (Curtin e Syers 1990), sendo que esse potencial de lixiviação é influenciado pela textura do solo bem como do conteúdo de água no solo (Bologna-Campbell 2007).

Em solos de regiões tropicais o enxofre está presente nas formas inorgânicas constituindo cerca de 10% da quantidade encontrada nos solos e orgânicas com 90%, sendo esta a forma predominante desse elemento no solo (Stipp e Casarin 2010). Os minerais primários com base em Ca, Cu, Fe, Mg e Zn são fontes originais de enxofre no solo, e o intemperismo desses minerais associados aos processos químicos, físicos e biológicos do solo dão origem a novos compostos ou formas de enxofre que são metabolizados pelos vegetais e pela microbiota (Norman et al. 2002). Segundo os autores supracitados, a transformação do enxofre depende de fatores como pH, umidade, conteúdo de carbono, argilominerais e óxidos de ferro e alumínio, e essa condição é realizada por processos bióticos e abióticos, no qual o primeiro está relacionado com a mineralização, imobilização, oxirredução e assimilação pelas raízes, enquanto o segundo está ligado aos processos de precipitação, adsorção e dessorção do enxofre inorgânico. Em solos com pouca oxigenação ou em condições anaeróbicas, as formas reduzidas de enxofre com maior incidência no solo e também a principal via de absorção dos vegetais são o dióxido de enxofre (SO_2), o sulfito (SO_3^{2-}), o enxofre elementar (S_0) e o sulfeto (S_2^-) (Figura 4.11) (Stipp e Casarin 2010).

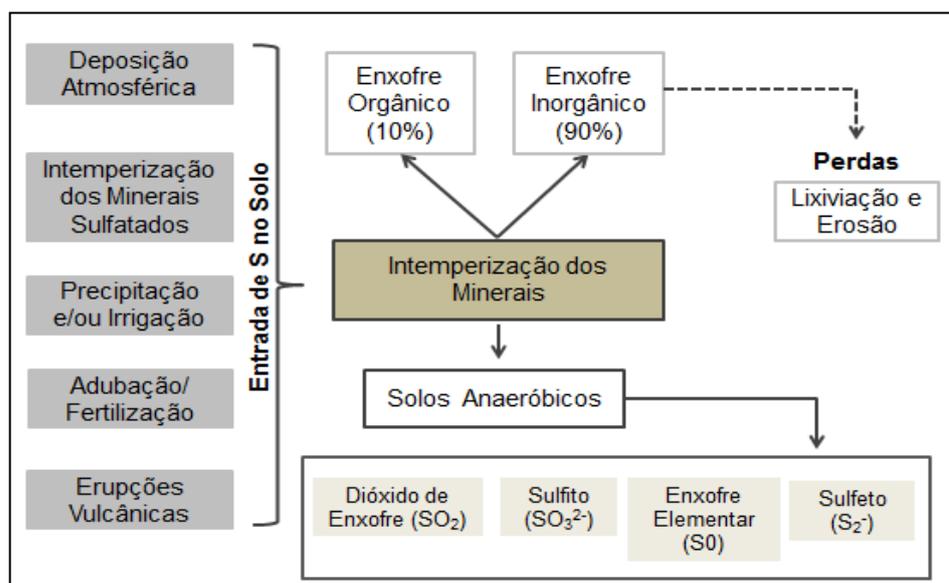


Figura 4.11 Ciclo do Enxofre. Adaptado de Stipp e Casarin (2010) e Alvarez et al. (2007).

4.6 Referências

Abreu CA, Lopes AS, Santos GCG (2007) XI – Micronutrientes. Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Centro de Solos e Recursos Ambientais, Instituto Agrônomo – IAC. SBCS, Lavras (MG)

Afif E, Barron V, Torrent J (1995) Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by cerrado soils from Brazil. *Soil Science*, 159:207-211

Aidar H, Kluthcouski J (2009) Realidade versus sustentabilidade na produção do feijoeiro comum. In: Kluthcouski J, Stone LF, Aidar H. *Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, Cap. 1, p. 23-33

Alcarde JC, Guidolin JA, Lopes AS (1991) Os Adubos e a eficiência das adubações. 2nd edn. ANDA, São Paulo. 35p

Alvarez VVH, Ribeiro AC (1999) Calagem. In: Ribeiro AC, Guimarães PTG, Alvarez V. VH (eds) *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação*. CFSEMG, Viçosa, pp 43-60

Alvarez VVH, Roscoe R, Kurihara CH, Pereira NF (2007) Enxofre. In: Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL (Eds.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: SBCS, p.595-644.

Amado TJC, Bayer C, Eltz FL, Brum ACR (2001) Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:189-197

Anderson JPE, Domsch KH (1980) Quantities of plant nutrients in the microbial biomass of selected soils. *Soil Science*. 130:211-216

Andrade FV, Mendonça ES, Alvarez-Venegas VH, Novais RF (2003) Addition of organic and humic acids to Latosols and phosphate adsorption effects. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1003-1011

André GM (2007) *Micronutrientes: fontes e formas de aplicação*. D.Sc. em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa-MG

Araujo JC (2008) *Avaliação de cultivares de feijão (Phaseolus vulgaris L.) para o sistema orgânico de produção*. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba

Araújo MAG (1998) *Adubação com nutrientes secundários e micronutrientes em plantio direto*. In: curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo sob plantio direto. p. 5-12.

Araujo JC (2008) *Avaliação de cultivares de feijão (Phaseolus vulgaris L.) para o sistema orgânico de produção*. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo

Araújo MAG (1998) *Adubação com nutrientes secundários e micronutrientes em plantio direto*. In: curso sobre aspectos básicos de fertilidade e microbiologia do solo sob plantio direto. Passo Fundo - Aldeia Norte

Arnon DI, Stout PR (1939) The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant physiol*, Washington, 14:371-375

Arrhenius, S. (1884). *Recherches sur la conductibilité galvanique des électrolytes*. PA Norstedt and Söner

Aubert H, Pinta M (1977) Trace elements in soils. In: *Developments in soil science*. New York, Elsevier, 7:395

Barber SA (1962) A diffusion and mass-flow concept of nutrient availability. *Soil Science*, Baltimore, 93:39-49

Barber SA (1963) A diffusion and mass-flow concept of nutrient availability. *Soil Science*, Baltimore, 93:39-49

Barber SA (1984) *Soil nutrient bioavailability: a mechanist approach*. New York, John Wiley

Bayer C, Mielniczuk J, Amado TJC, Martin L, Fernandes SV (2000) Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 54:101–109

Benites VM, Carvalho MCS, Resende AV, Polidoro JC, Bernardi ACC, Oliveira FA (2015). In: Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes, Edition: 1, Chapter: Potássio, cálcio e magnésio na agricultura brasileira, Publisher: IPNI, Editors: L. I. PROCHNOW, pp.100-130

Campbell IB (2007) Balanço de nitrogênio e enxofre no sistema solo-cana-de-açúcar no ciclo de cana-planta. Tese de doutorando. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

Brady NC et al (2012) Elementos da natureza e propriedades dos solos. Porto Alegre

Brady NC, Weil RR (2013) Elementos da natureza

Brasil (1998) Ministério da agricultura e do abastecimento: legislação: inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos e inoculantes destinados à agricultura. Brasília

Brönsted-Lowry JN (1923) Algumas observações sobre o conceito de ácidos e bases' *Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas* 42:718-728

Brown PH, Welsh RM, Cary EE (1987) Nickel: a micronutrient essential for higher plants. *Plant physiol.*, Rockville, 85:801-803

Bustamante MMC, Martinelli LA, Silva DA, Camargo PB, Klink CA, Domingues TF, Santos RV (...) Natural abundance in woody plants and soils of central Brazilian Savannas (Cerrado). *Ecological Applications*, v.14

Camargo AO, Valadares JMAS, Dechen AR (1982) Efeitos do pH e da incubação na extração do manganês, zinco, cobre e ferro do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 6:83-8

Caride C, Piñeiro G, Paruelo JM (2012) How does agricultural management modify ecosystem services in the argentine Pampas? The effects on soil C dynamics. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 154: 23-33

Carvalho VN (2004) Deposição atmosférica e composição química da água de chuva. *Revolução Tecnológica*, v.25, p.61-71, 2004.

Cate R (1965) Sugestões para adubação com base na análise de solos. Raleigh, North Caroline State University, International Soil Test Project

Cavalcanti, FJA (2008) Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: segunda aproximação. Instituto Agrônomo de Pernambuco, Recife

Chaves LHG, Menino IB, Araújo ID, Chaves IDB (1998) Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2(3): 262-267

Chien SH, Menon RG (1995) Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. *Fertilizer Research*, 41: 227-234

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo: SBCS – Núcleo Regional Sul, 1995. 224p.

Conceição PC, Amado TJC, Mielniczuk J, Spagnollo E (2005) Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:777-788

COORDENADORIA DE BIODIVERSIDADE E RECURSOS NATURAIS CBRN (2011). GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. Fonte: http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Repositorio/222/Documentos/SAF_Digital_2011.pdf

Costa WAJMD, Sangakkara UR (2006) Agronomic regeneration of soil fertility in tropical Asian smallholder uplands for sustainable food production. *Journal of Agricultural Science*, 144:111-133

Cronan CS, Grigal DF (1995) Use of calcium/aluminium ratios as indicators of stress in forest ecosystems. *Journal of Environmental Quality*, 24:209-226

Curtin D, Syers JK (1990) Extractability and adsorption of sulphate in soils. *Journal of Soil Science, Oxford*, 41:305-312

D'Andréa AF, Silva MLN, Curi N, Guilherme LRG (2004) Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 39:179-186

Dias JS (2012) UNIFERTIL. UNIVERSAL DE FERTILIZANTES S.A. Periodicidade Trimestral

Diekow J, Mielniczuk J, Knicker H, Bayer C, Dick DP, Kögel-Knabner I (2005) Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a Southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. *Soil Tillage Res*, 81:87-95

Ebeling AG et al (2008) Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. *Bragantia*, Campinas, 67:429-439

Fardeau JC (1996) Dynamics of phosphate in soils: an isotopic outlook. *Fertility Research*, 45:91-100

Ferreira LGR (1992) *Fisiologia Vegetal: Relações Hídricas*. 1st ed. Fortaleza: Edições UFC, pp 138

Ferri MG (1985) *Fisiologia Vegetal*, v. 1. 2nd ed. São Paulo: EPU, pp 361

Follett RF (2001) Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. *Soil and Tillage Research*, 64:77-92

Fontes MR, Weed SB, Bowen LH (1992) Association of microcrystalline goethite and humic acid in some oxisols from Brazil. *Soil Science Society of America Journal*, 56:982-990

Frossard E, Brossard M, Hedley MJ & Metherell A (1995) Reactions controlling the cycling of P in soils. In: Tiessen H (ed) *Phosphorus in the global environmental: transfers, cycles and management*. 1 ed. Chichester, U.K: Wiley, pp 107-137

Glasener KM, Waggoner MG, Mackown CT, Volk RJ (2002) Contributions of shoot and roots nitrogen-15 labeled legume nitrogen source to a sequence of three cereal crop. *Soil Science Society of American Journal*, 66:523- 530

Gonçalves JLM, Firme DJ, Novais RF, Ribeiro AC (1985) Cinética de adsorção de fósforo em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 9:107-111

Hopkins WG (2000) *Introduction to Plant Physiology*. 2nd ed. New York: John Wiley, Sons, Inc, pp 512

Hopkins WG, Hüner NPA (2009) "Introduction to Plant Physiology" 4th edn, John Wiley and Sons, Inc., USA, pp 528

John G, Thomas Jordan (2013) *Para Entender A Terra*. Capítulo 3: Minerais: Constituintes Básicos das Rochas. 6th edn. pp 77-100

Jones JB (2012) "Plant Nutrition and Soil Fertility Manual" 2nd edn, CRC Press, USA, pp 304

Jordan HV, Ensminger LE (1958) The role of sulphur in soil fertility. *Advance in Agronomy*, Madison, 10:407-434

- Junior AC (2008) Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2051-2059
- Khorramdel S, Koocheki A, Mahallati MN, Khorasani R, Ghorbani R (2013) Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. *Soil and Tillage Research*, 133:25-31
- Kirkby EA, Römheld V (2007) Encarte Técnico Micronutrientes na Fisiologia De Plantas: Funções, Absorção e Mobilidade. *Informações Agronômicas* (118), pp 24
- Klein C, Agne SAA (2012) Fósforo: de nutriente à poluente! 8:1713-1721
- Kozłowski TT, Pallardy SG (1997) Growth control in woody plants. San Diego, Academic Press
- Lal R (2004) Soil Carbon Sequestration Impacts on Global. *Science*, 304: 1623
- Larcher W (2001) "Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups". 4th edn. English translation from 2003 Springer-Verlag, Berlin – New York. pp 514
- Liu XB, Han XZ, Herbert SJ, Xing B (2003) Dynamics of soil organic carbon under different agricultural management system in the black soil of China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34:973-984
- Lopes AS, Silva MC, Guilherme LRG (1990) Acidez do solo e calagem. 3rd edn. ANDA: São Paulo, (Boletim Técnico, 1) pp 22
- Lopes AS (1999) Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo - ANDA, (Boletim Técnico, 8) pp 58
- Loss A et al (2007) Atributos químicos e físicos de solos de tabuleiros sob diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. *Magistra, Cruz das Almas*, 19:150-162
- Lovato T, Mielniczuk J, Bayer C, Vezzani F (2004) Adições de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:175-187
- Malavolta E, Vitti GC, Oliveira AS (1997) Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. POTAFOS, Piracicaba, pp 319
- Malavolta E (1980) Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ceres, pp 251
- Malavolta E (1981) Manual de química agrícola - Adubos e adubação. 3rd edn. São Paulo, Ceres, pp 596
- Malavolta E (1979) Adubos nitrogenados. In: ABC da adubação. 4. edn. São Paulo: Agronômica Ceres, pp 25-39
- Mantovani JR, Ferreira ME, Cruz MCP, Barbosa JC (2005) Alterações nos atributos de fertilidade em solo adubado com composto de lixo urbano. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 29:817-824
- Marquez TLLSM, Vasconcellos CA, Pereira Filho I, França GE, Cruz JC (2000) Envolvimento de dióxido de carbono e mineralização do nitrogênio em Latossolo Vermelho-escuro com diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 30:581-589
- Marschner H (1995) Mineral nutrition of higher plants. 2edn. London, Academic Press, pp 889
- Marschner H (1986) Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press Inc., pp 674
- Martins CR, Pereira PAP, Lopes WA, Andrade JB (2003) Ciclos Globais de Carbono, Nitrogênio e Enxofre: a importância da química na atmosfera. *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola*, 5:14
- Matos AT (2005) Tratamento de resíduos agroindustriais. Fundação Estadual do Meio Ambiente, Viçosa

Mauseth JD (2009) "Botany: an introduction to plant biology", 4th Edition, Jones and Bartlett Publishers International, London

McPHAIL M, Page AL, Bingham FT (1972) Adsorption interaction of monosilicic and boric acid on hydrous oxides of iron and aluminum. *Soil Science Society of America Proceedings* 36:510-514

Melo VF, Castilhos RMV, Pinto LFS (2009) Reserva mineral do solo. In: Alleoni LRF, Melo VF (ed) *Química e mineralogia do solo*. 1ª ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, pp 251-332

Mendes FF, Santos IC, Fontanetti A, Oliveira LR, Souza LV, Guimarães LJM, Toledo DS (2007) Produtividade de feijão de inverno em sistema orgânico em sucessão ao consórcio milho + leguminosas. *Revista Brasileira de Agroecologia* 2:1338-1341

Mengel K (1996) Turnover of organic nitrogen in soils and its availability to crops. *Plant Soil* 181:83-93

Menguel K, Kirkby EA (1987) Potassium. In: Menguel K, Kirkby EA (ed) *Principles of plant nutrition*. Internaciotal Potash Institute, Bern, pp115-138

Meurer EJ (2006) Potássio. In: Fernandes MS (ed) *Nutrição mineral de plantas*. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, pp 281-298

MMA (2016) Ciclo Hidrológico. <http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>. Acessado em 24 de abril de 2017

Moreira A, Carvalho JG, Evangelista AR (1999) Influência da relação cálcio:magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 34(2):249-255

Moreira A, Malavolta E (2004) Dinâmica da matéria orgânica e da biomassa microbiana em solo submetido a diferentes sistemas de manejo na Amazônia Ocidental. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39:1103-1110

Moreira FMS, SIQUEIRA JO (2002) *Microbiologia e bioquímica do solo*. Editora UFPA, Lavras

Moreira FLM, Mota FOB, Clemente CA, Azevedo BM, Bomfim GV (2006) Adsorção de fósforo em solos do Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica* 37:7-12

Morot-Gaudry JF (2009) *Biologie Végétale: Nutrition et Métabolisme*. Editions Dunod, Paris

Mortvedt JJ, COX FR (1985) Production, marketing and use of calcium, magnesium and micronutrient fertilizers. In: Engelstad OP (ed) *Fertilizer technology and use*. 3.ed. Soil Science Society of America, Madison, pp 455-481

Mortvedt JJ (1992) Crop response to level of water-soluble zinc in granular zinc fertilizers. *Fert Res* 33:249-255

Mortvedt JJ (2001) Tecnologia e produção de fertilizantes com micronutrientes. Presença de elementos tóxicos. In: Ferreira ME, Cruz MCP, Rajj BV, Abreu CA (ed) *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. CNPq/FAPESP/ POTAFOS, Jaboticabal, pp 237-253

Mulvaney MJ, Wood CW, Balkcom KS, Shannon DA, Kemble JM (2010) Carbon and nitrogen mineralization and persistence of organic residues under conservation and conventional tillage. *Agronomy Journal* 102:1425-1433

Neto SM, Piccolo MC, Venzke Filho SP, Feil BJ, Cerri CC (2010) Mineralização e desnitrificação do nitrogênio no solo sob sistema plantio direto. *Revista Bragantia* 69:923-936

Norman AL, Giesemann A, Krouse HR, Jäger HJ (2002) Sulphur isotope fractionation during sulphur mineralization: results of an incubation–extraction experiment with a Black Forest soil. *Soil Biology and Biochemistry* 34:1425-1438

- Novais RF, Smyth TJ (1999) Fósforo em solo e planta em condições tropicais. UFV, Viçosa
- Nunes RS et al. (2011) Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 35:1407-1419
- Nunes RS, Lopes AAC, Sousa DMG, Mendes IC (2011) Sistemas de manejo e os estoques de carbono e nitrogênio em latossolo de cerrado com a sucessão soja-milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35:1408-1420
- Öpik H, Rolfe SA (2005) "The Physiology of Flowering Plants" Fourth Edition. Cambridge University Press, UK
- Osório Filho BD, Rheinheimer DS, Silva LS, Kaminskill J, Dias GF (2007) Deposição do enxofre atmosférico no solo pelas precipitações pluviais e respostas de culturas à adubação sulfatada em sistema plantio direto. *Ciência Rural* 37:712-719
- Paul EA, Clark FE (1989) *Soil microbiology and biochemistry*. Academic Press, London
- Pavinato OS, Rosolem CA (2008) Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32:911-920
- Penteado SR (2007) *Adubação na agricultura ecológica: cálculo e recomendação numa abordagem simplificada*. Edição do Autor, Campinas
- Pereira LB, ARF O, Santos NCB, Oliveira AEZ, Komuro LK (2015) Manejo da adubação na cultura do feijão em sistema de produção orgânico. *Pesquisa Agropecuária Tropical* 45:29-38
- Pinheiro LBA (1996) Estudo da macrofauna de solos cultivados com cana-de-açúcar, sob diferentes manejos de colheita crua e queimada. Seropédica. Dissertação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
- Raij BV, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais*. Instituto Agronômico, Campinas
- Rangel OJP, Silva CA, Guimarães PTG, Melo LCA, Oliveira Junior AC (2008) Carbono orgânico e nitrogênio total do solo e suas relações com os espaçamentos de plantio de cafeeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 32:2051-2059
- Resende AV (2003) *Adubação com Micronutrientes no Cerrado*. Embrapa Cerrados, Planaltina
- Raij BV, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) *Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais*. Instituto Agronômico, Campinas
- Ribeiro DO, Vilela LAF (2007) Nutrientes. Faculdade Integradas de Mineiros. <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAArwwAK/nutrientes-solo>. Acesso em 23 de abril de 2017
- Rocha GN, Gonçalves JLM, Moura IM (2004) Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* fertilizado com bio sólido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28:623-639
- Russell EW, Russell EJ (1973) *Soil conditions and plant growth*. 10th ed. Longmans Green, London
- Salisbury FB, Ross CW (1992) *Plant Physiology*. 4th Edition. Wadsworth Publishing Company, Belmont
- Sanchez PA (1981) *Suelos del trópico: características y manejo*. IICA, San José
- Santos NCB (2011) Potencialidades de produção do feijão orgânico. *Pesquisa e Tecnologia*. <http://www.aptaregional.sp.gov.br/acesse-os-artigos-pesquisa-e-tecnologia/edicao-2011/2011-julho-dezembro/1254-potencialidades-de-producao-do-feijao-organico-1/file.html>. Acessado em 17 de abril de 2017
- Schlessinger WH (1997) *Biogeochemistry: An analysis of global change*. Academic Press, London

Schnier HF, Datta SK, Mengel K (1987) Dynamics of ¹⁵N-labeled ammonium sulfate in various inorganic and organic soil fractions of wetland rice soils. *Biol Fertil Soils* 4:171-177

Schnitzer M, Monreal CM (2011) Quo vadis soil organic matter research: a biological link to the chemistry of humification. *Adv Agron* 113:139-213

Segalen P (1964) *Le fer dans les sols*. Orstom, Paris

Sierra J, Marbán L (2000) Nitrogen mineralization pattern of an oxisol of Guadeloupe, French West Indies. *Soil Science Society of American Journal* 64:2002-2010

Silva KMJ, Silva DF, Pegoraro RF, Santos LPS, Silva FJ, Silveira TC, Rabelo JM. Utilização de Enxofre Elementar como alternativa para Acidificação de Solos com pH Alcalino. FORUM-FEPEG. http://www.fepeg2014.unimontes.br/sites/default/files/resumos/arquivo_pdf_anais/utilizacao_de_enxofre_elementar_como_alternativa_para_acidificacao_de_solos_com_ph_alcalino._karen.pdf. Acesso em 07 de maio de 2017

Silva FM, Chaves MSC, Lima ZM (2009) *Gênese dos solos*. EDUFRN, Natal

Silveira PM, Cunha PCR, Stone LF, Santos GG (2010) Atributos químicos de solo cultivado com diferentes culturas de cobertura. *Pesq Agropec Trop* 40:283-290

Simonete MA, Kiehl JC, Andrade CA, Teixeira CFA (2003) Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 38(10):1187-1195

Sisti CPJ, Santos HP, Kohmann R, Alves BJR, Urquiaga S, Boddey RM (2004) Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. *Soil Tillage Res* 76:39-58

Souza DMG, Miranda LN, Oliveira AS (2007) Acidez do solo e sua correção. In: Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL. *Fertilidade do solo*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, pp 205-274.

Stevenson FJ (1994) *Humus Chemistry: genesis, composition, reactions*: 2nd edn. John Wiley, New York

Stipp SR, Casarin VA (2010) Importância do enxofre na agricultura brasileira. IPNI. [http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/DC0BC5ED9CC2127A83257A90000D6B51/\\$FILE/Page14-20-129.pdf](http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/DC0BC5ED9CC2127A83257A90000D6B51/$FILE/Page14-20-129.pdf). Acessado em 25 de abril de 2017

Taiz L, Zeiger E (2004) *Fisiologia Vegetal*. 3ª edição. Editora Artmed, Porto Alegre

Taiz L, Zeiger E (2010) *Plant Physiology*. 5th Edition, Sinauer Associates Inc., Sunderland

Takahashi E, Miyake Y (1977) Silica and plant growth. In: Wada K, Okamura M (ed) *Proc. Intern. Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture*. Nippon Dojohiryō Gakkai, Toquio, pp 603-611

Tedesco JM, Selbach PA, Gianello C, Camargo FAO (1999) Resíduos orgânicos no solo e os impactos no ambiente. In: Santos GA, Camargo FAO (ed) *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. Gênese, Porto Alegre, pp 27-39

Thomas GW, Hargrove WL (1984) The chemistry of soil acidity. In: Adams F (ed) *Soil acidity and liming*. 2nd edn. ASA, CSSA, SSSA, Madison, pp 3-56

Thomsen IK, Olesen JE, Schjønning P, Jensen B, Christensen BT (2000) Net mineralization of soil N and ¹⁵N-ryegrass residue in differently textured soils of similar mineralogical composition. *Soil Biology & Biochemistry* 33:277-285

Tisdale SL, Nelson WL (1975) Soil fertility and fertilizer. 3a ed. Collier Mc Millan International editions, New York

Tisdale SL, Nelson WL (1993) Soil fertility and fertilizers. 5 ed. Macmillan, New York

Trani PE, Trani AL (2011) Fertilizantes: cálculo de fórmulas comerciais. Instituto Agronômico, Campinas

Trinsoutrot I, Recous S, Bentz B, Linères M, Chèneby D, Nicolardot B (2000) Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetic under nonlimiting nitrogen conditions. Soil Science Society of American Journal 64:918-926

Ungera PW, Stewart BA, Parrb JF, Singhc RP (1991) Crop residue management and tillage methods for conserving soil and water in semi-arid regions. Soil & Tillage Research 20:219-240

USGS (2016) O ciclo da água. Water Resources. <https://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.htm> l. Acessado em 04 de abril de 2017

Vargas LK, Scholles D (1998) Nitrogênio da biomassa microbiana, em solo sob diferentes sistemas de manejo, estimado por métodos de fumigação. R Bras Ci Solo 22:411-417

Vergnoux A, Guiliano M, Le Dréau Y, Kister J, Dupuy N, Doumenq P (2009) Monitoring of the evolution of an industrial compost and prediction of some compost properties by NIR spectroscopy. Science of the Total Environment 407(7):2390-2403

Voisin A (1973) Adubos - Novas leis científicas de sua aplicação. Mestre Jou, São Paulo

Volkweiss SJ (1991) Fontes e métodos de aplicação. In: Ferreira ME, Cruz MCP (ed) Micronutrientes na agricultura. POTAFOS, Piracicaba, pp 391-412

Whiethölter S (2000) Nitrogênio no solo sob plantio direto. Revista Plantio Direto 1:38-42

White PJ (1998) Calcium channels in the plasma membrane of roots cells. Annals of Botany 81:173-183

Yamada T, Abdalla SRS, Vitti GC (2007) Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira. IPNI, Piracicaba

Capítulo 5

Biodiversidade do solo em Agroecossistemas

Tancredo Augusto Feitosa de Souza

Djail Santos

Samuel Inocência Alves da Silva

Ailson de Lima Marques

Edjane Oliveira de Lucena

Begna Janine da Silva Lima

Alexandre José da Silva

Fernando José da Silva

5.1 Macrofauna

A fauna edáfica refere-se à comunidade de animais invertebrados que permanecem quase ou todo o seu ciclo de vida no solo, e que exerce importantes funções na manutenção da cadeia alimentar e no fluxo de energia dos sistemas através da mineralização dos resíduos orgânicos (Antoniolli et al. 2006). Para melhor entender a fauna edáfica, esta foi dividida de acordo com o tamanho de seus organismos e sua funcionalidade, e assim separada em grupos com características similares, dentre eles os parasitas, predadores, saprófagos e engenheiros do ecossistema (Moreira et al. 2010). O tamanho do corpo é a subdivisão mais atribuída e tem como base o comprimento do animal (Aquino 2005). Estes organismos estão diretamente relacionados com a ciclagem dos nutrientes no ecossistema (Dupont et al. 2009; Yang e Chen 2009; Carrillo et al. 2011), e sua diversidade é influenciada pela variedade de recursos e dos micro-habitat que são formados pela matéria orgânica, um conjunto de fatores que proporcionam condições favoráveis a manutenção dos grupos funcionais (Albuquerque et al. 2009), além da qualidade e quantidade de material orgânico que é aportado no solo (Dupont et al. 2009; Gatiboni et al. 2009; Tripathi et al. 2010).

Por ordem de tamanho decrescente tem-se a Macrofauna que apresenta indivíduos com tamanho superior a 2 mm, que detém mais de 20 grupos taxonômicos. A Mesofauna compõe indivíduos com tamanho variando entre 0,2 a 2,0 mm representada pelos gêneros Acari, Collembola, Diplura, Enchytraeidae, Palpigradi, Pauropoda, Protura, Symphyla, além de outros insetos como oligoquetos e crustáceos. E Microfauna, composta por organismos com tamanho inferior a 0,2 mm representada por nematóides e protozoários (Figura 5.1) (Melo et al. 2009).

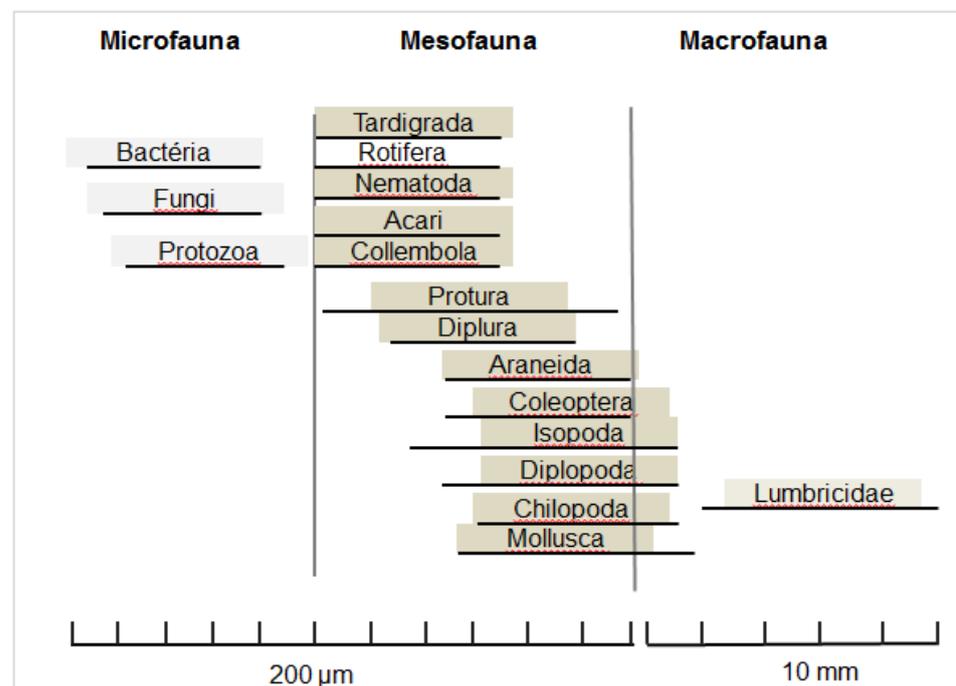


Figura 5.1 Classificação dos organismos do solo em função do comprimento do corpo. Adaptado de Swift et al. (1979)

Além dessa classificação, a fauna edáfica pode ser agrupada de acordo com o tempo que vivem no solo, assim como do habitat e do meio de locomoção. Quanto ao tempo de vida, pode variar aos quais alguns grupos como as minhocas são restritas à vida no solo, para alguns insetos o solo é o ambiente de vida apenas para a fase

larval. O habitat para alguns organismos pode ser terrestre ou aquático (filmes de água ao redor das partículas de solo e/ou poros com água). No que diz respeito ao hábito alimentar, ainda podem ser classificados em biófagos – se alimentam de outros seres vivos ou saprófagos – se alimentam dos resíduos orgânicos em decomposição. Para locomoção, a fauna edáfica pode ser dividida em escavadores ou não escavadores (Aquino 2005).

A macrofauna é composta por formigas (Hymenoptera), besouros (Coleoptera), minhocas (Oligochaeta), aranhas (Aranae), baratas (Blattaria), centopeias (Chilopoda), tatuzinhos (Isopoda), escorpiões (Scorpiones), percevejos (Hemiptera), tesourinhas (Dermaptera), grilos (Orthoptera), cigarras (Hemiptera), larvas de mosca (Diptera), mariposas (Lepidoptera), cupins (Isoptera), e piolho-de-cobra (Diplopoda) (Figuras 5.2, 5.3 e 5.4) (Melo et al. 2009).

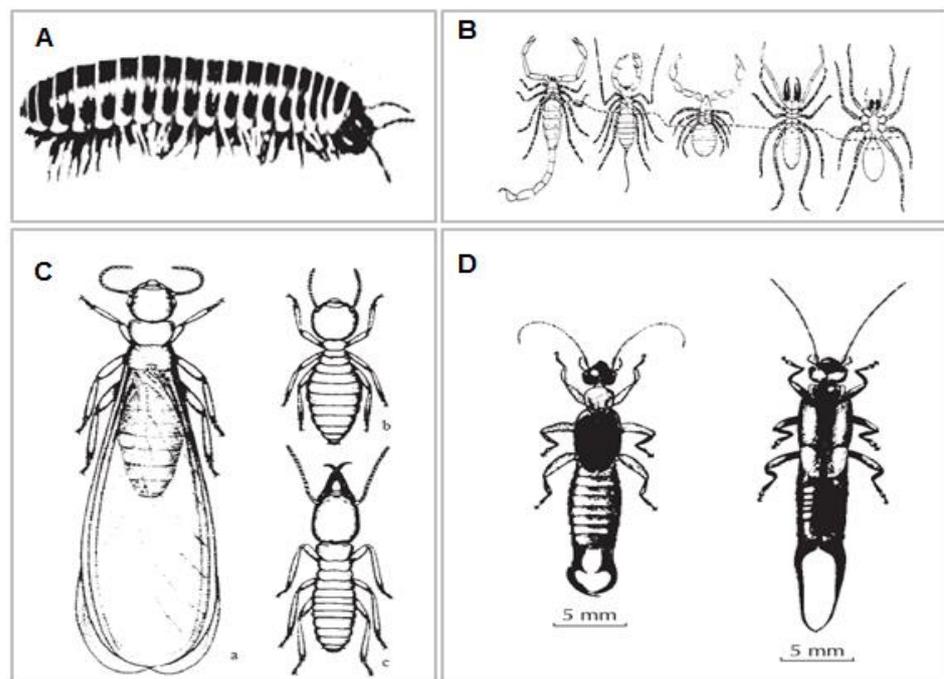


Figura 5.2 Organismos da macrofauna do solo. (A) Diplopoda (piolho-de-cobra) (Adaptado de Barnes, 1990). (B) Escorpião, Pseudoescorpião e Aranha (Adaptado de Storer e Usinger, 1978). (C) Isopteras – cupins e térmitas (Adaptado de Gay, 1970). (D) Dermaptera – tesourinhas (Adaptado de Rentz e Kevan, 1991). (E) Psocoptera – piolho-de-cobra (Adaptado de Smithers, 1970).

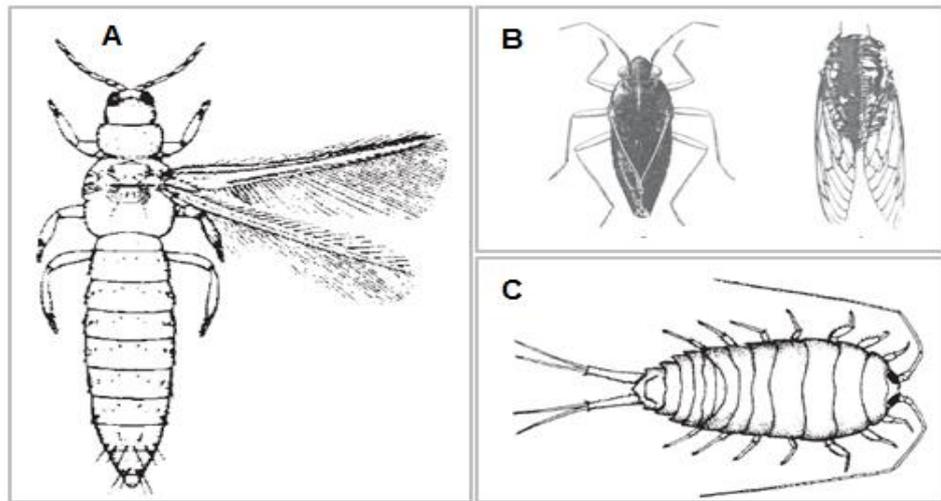


Figura 5.3 Organismos da macrofauna do solo. (A) Thysanoptera (Adpatado de Reed, 1970). (B) Hemiptera – percevejo e cigarra (Adaptado de Carver et al., 1991). (C) Isopoda – tatuinho de jardim (Adaptado de Rebeiro-Costa e Rocha, 2002).

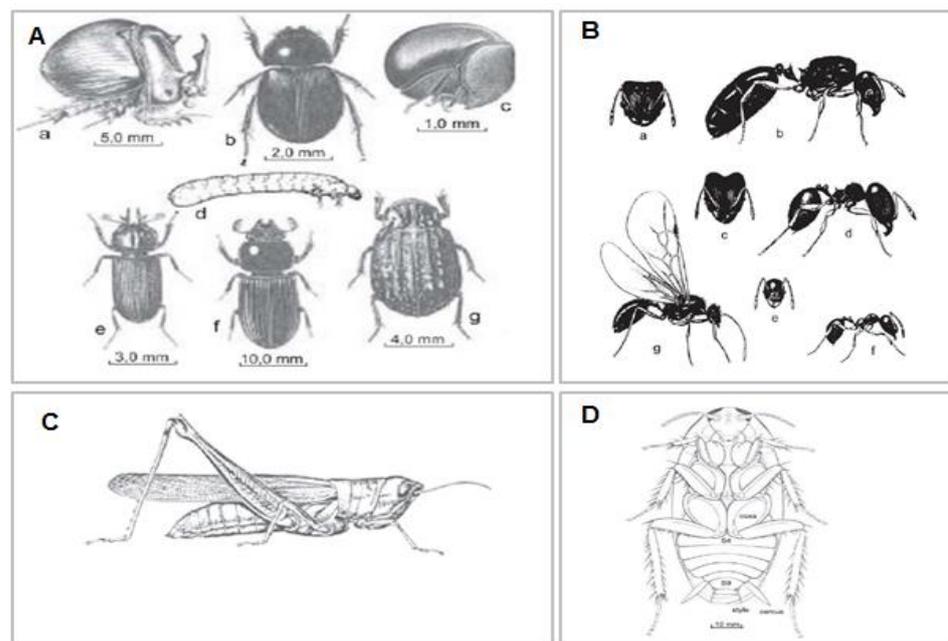


Figura 5.4 Organismos da macrofauna do solo. (A) Coleoptera – besouros (Adaptado de Lawrence e Britton, 1970). (B) Hymenoptera (Adaptado de Riek, 1970). (C) Orthoptera – gafanhoto (Adaptado de Key, 1970). (D) Blattodea – barata (Adaptado de Roth, 1991).

De acordo com Wilson (1987), os grupos decompositores formados por ácaros, colêmbolos, diplópodes, crustáceos terrestres e alguns insetos consomem os resíduos vegetais, excrementos e carcaças de outros animais e trabalham na reciclagem dos nutrientes, enquanto outros grupos, como alguns predadores a exemplo de aranhas, centopeias, pseudoescorpiões, ácaros e alguns insetos (ácaros, carabídeos, estafilinídios, formigas, vespas parasitas, larvas de crisopas) e fitófagos (alguns ácaros, afídeos, borboletas, cigarras, escaravelhos, gafanhotos, grilos, mariposas, percevejos), participam na regulação das cadeias tróficas, alimentando-se de outros artrópodes assim

como de plantas. Ainda de acordo com o autor supracitado, todos esses grupos da fauna edáfica formam as cadeias alimentares de outros grupos de vertebrados, a exemplo de anfíbios, aves, mamíferos e répteis, e até de alguns vegetais como as espécies carnívoras e insetívoras. A macrofauna é reconhecida como os “engenheiros do ecossistema”, tendo em vista que estes organismos desempenham no solo algumas funções como galerias, ninhos e cavidades, e esses caminhos formados no solo transportam materiais entre os horizontes (Lavelle et al. 1997), além de contribuir na formação de poros e agregação das partículas do solo e atuam como controladores biológicos como predadores de outros invertebrados (Machado et al. 2015).

A macrofauna realiza diversos processos no ecossistema, denominados de funções ecológicas, e essas ações podem afetar o controle biológico, a ciclagem de nutrientes, produção de oxigênio, fixação de carbono, polinização, dispersão de sementes, despoluição de corpos de água e balanço climático (Tabela 5.1). O grupo de formigas, minhocas, cupins e coleópteros tem a capacidade de alterar as características químicas e físicas do solo (Korasaki et al. 2013). Essas funções da macrofauna resultam em uma maior capacidade de infiltração de água no solo e redução da compactação do solo, também atuam na decomposição da matéria orgânica, e com isso modifica as características químicas do solo (Korasaki et al. 2013). Baretta et al. (2007) e Oliveira et al. (2014), afirmam que a macrofauna também trabalha na reciclagem de nutrientes, fragmentando a matéria orgânica, homogeneiza as frações orgânica e mineral do solo e assim atuam melhorando a estrutura do solo.

Tabela 5.1 Influência da fauna edáfica nos processos do ecossistema.

Fauna do Solo	Atividade no Ecossistema	Função no Solo
Macrofauna (Tamanho > 2 mm)	Fragmenta os resíduos de plantas e estimula a atividade microbiana.	Mistura partículas minerais e orgânicas. Redistribui a matéria orgânica e microrganismos. Cria bioporos. Promove humificação. Produz <i>pellets</i> fecais.
Mesofauna (0,2 – 2 mm)	Regula as populações de fungos e microfauna.	Produz <i>pellets</i> fecais, cria bioporos, promove a humificação.
Microfauna (<0,2 mm)	Regula as populações de bactérias e fungos.	Pode afetar a agregação do solo por meio das interações com a microflora

Fonte: Adaptado de Hendrix et al. (1990).

Alguns fatores afetam diretamente as populações de organismos do solo, a exemplo do tipo de vegetação, de solo e das condições climáticas (Moreira e Siqueira 2006), além da temperatura, da precipitação e do manejo empregado na área (Korasaki et al. 2013). Desse modo, em uma mesma região pode-se encontrar variação dentro de um mesmo ecossistema, formando assim micro-habitat com microambientes que possibilita a presença de organismos com características distintas (Moreira e Siqueira 2006). Como mencionado neste texto à fauna do solo compreende uma enorme diversidade de organismos que vivem toda ou parte de seu ciclo de vida no solo, e devido essa grande variação é impossível identificar e quantificar todos os grupos, além de que não existe um único método que detenha esse feito. Sendo assim, alguns métodos de identificação da fauna do solo são utilizados de acordo com o objetivo de estudo em função da região e do tipo de ecossistema para que se possa avaliar a qualidade do solo (Araujo 2005). Em geral, a identificação da fauna edáfica tem como principal critério o diâmetro e/ou comprimento do corpo dos organismos (Araujo 2005). A seguir serão descritos alguns métodos empregados na identificação de macrofauna.

a) Armadilhas PROVID

As armadilhas de fauna do solo tipo PROVID foi idealizada por Antonioli et al. (2006). Este método para capturar a macrofauna é constituído por uma garrafa de plástico tipo Pet, com capacidade de dois litros. Na parte superior da garrafa é feito quatro aberturas na forma de janelas com dimensões de 6 x 4 cm na altura de 20 cm de sua base para captura dos organismos. Dentro da garrafa é colocada uma solução contendo 200 mL de álcool 70% mais 3-5 gotas de formol a 2 %. Em seguida a garrafa é enterrada no solo de modo que as aberturas feitas fiquem ao nível da superfície do solo, permanecendo por um período de sete dias no solo (Antonioli et al. 2006; Nunes Araújo Filho; Menezes 2009). Porém, alguns pesquisadores adaptam essa metodologia, como Alves et al. (2014), que alterou a dimensão das aberturas na garrafa, deixando-a com 2 x 2 cm e como solução utilizou 40 mL de detergente neutro mais 160 mL de água e cinco gotas de formol a 2% de concentração. Correa et al. (2009), também modificaram a metodologia, adaptando as aberturas para 3 x 3 cm e como solução utilizaram detergente a uma concentração de 10% mais cinco gotas de formol.

b) Tropical Soil Biology and Fertility (TSBF)

Essa metodologia foi descrita por Anderson e Ingram (1993), que consiste em coletar amostras de solo em formato de monólitos utilizando gabaritos com dimensão de 25 x 25 cm a uma profundidade de 10 cm com distância de no mínimo 10 m entre cada uma das amostras. As amostras são acondicionadas em sacolas plásticas e posteriormente é feita a identificação da macrofauna. É uma amostragem bem simples e que pode ser empregada em várias situações. As amostras de solo são separadas em profundidades de 0-10, 10-20 e 20-30 cm, destorroadas e reviradas manualmente em caixas plásticas. Com o auxílio de uma pinça é efetuada a captura dos organismos e a identificação feita ao nível de grupos taxonômicos (Figura 5.5).



Figura 5.5 Coleta de solo pelo método TSBF. Fonte: Aquino (2001).

c) Armadilhas Pit-Fall

Esta metodologia foi descrita por Moldenke (1994), que consiste em coletar a macrofauna através de recipientes plásticos enterrados no solo, com capacidade para 500 mL, tendo esses recipientes 9 cm de diâmetro e 11 cm de altura, contendo uma solução de 170 mL de álcool, permanecendo no solo durante sete dias e sendo renovada a solução duas vezes durante o período de coleta. Esse tipo de armadilha pode ser utilizado para indicar a atividade da fauna epígea, ou seja, os indivíduos que atuam na superfície do solo, e pode coletar tanto macrofauna quanto mesofauna obtendo assim um caráter mais qualitativo do solo (Moldenke 1994). Aquino (2005) modificou essa metodologia, em pesquisas foram utilizados recipientes com 10 cm de altura e 10 cm de diâmetro ao nível do solo. Desse modo, os organismos ao se locomoverem no solo caem dentro dos recipientes que contém 200 mL de formol a 4% de concentração. As armadilhas permanecem no solo também durante sete dias, mas podendo ser feitas as coletas diariamente, tendo assim um parâmetro de avaliação diário de número de indivíduos por armadilha (Figura 5.6).



Figura 5.6 Armadilha do tipo Pitfall para capturar organismos do solo. Fonte: Aquino (2005)

5.2 Bioindicadores de impactos ambientais

Nos últimos anos, com a intensificação do uso dos recursos naturais e degradação da natureza percoladas pela noção esgotamento, tem feito surgir uma dimensão mais crítica e investigativa sobre os sistemas agrícolas convencionais em detrimento do subsidio dos sistemas alternativos. A avaliação dos indicadores ambientais de um sistema agrícola alternativo se torna mais acessível porque o ambiente apresenta mais variáveis naturais, como por exemplo, resquícios florestais em consorcio com culturas agrícolas. A seleção de variáveis que resultaram em bioindicadores sob a ótica da sustentabilidade, envolvendo aspectos concernentes às condições e à disponibilidade

dos recursos e serviços ambientais pautados num ambiente pouco alterado. Mesmo com avanços na literatura, os indicadores ou bioindicadores de agroecossistemas, são restritos devido as metodologias não estarem consolidadas. No semiárido brasileiro, devido sua heterogeneidade, por exemplo, isso ocorre porque cada área onde está empregado um sistema alternativo é como uma estação experimental, ou seja, apresenta um fator endêmico.

5.2.1 Sustentabilidade em agroecossistemas

Diante da discussão que envolve a sustentabilidade de sistemas agrícolas-naturais emerge a problemática de como avaliar se há sustentabilidade interposta aos agroecossistemas. A avaliação de um agroecossistema está pautada no monitoramento e avaliação a curto e longo prazo de indicadores, porém não indicadores comuns, mas, bioindicadores (Rigby e Cáceres 2001). Há um empenho de vários autores em fomentar bioindicadores que criem operativos os sistemas agroecológicos. Essas inovações em sistemas de manejo agrícola não convencionais exigem uma dimensão ecológica, social e econômica (Masera et al. 1999). Os critérios convencionais que reúnem bases econômicas utilizados para avaliar a agricultura orientada para o mercado não são mais suficientes para avaliar de forma ampla os sistemas agrícolas sustentáveis, sendo assim, foi necessário incluir a variável ambiental (Bockstaller et al. 1997). Esses indicadores surgiram para estimar parâmetros específicos de um agroecossistema, de forma a determinar o nível ou condição para que esses parâmetros possam funcionar de maneira sustentável (Gliessman 2005). Deponti et al. (2002), condizem que indicadores são instrumentos que permitem mensurar modificações nas características de um sistema e assim avaliar se há sustentabilidade. A literatura reúne características básicas que devem ser atendidas pelos bioindicadores afim de sustentabilidade (Masera et al. 1999; Deponti et al. 2002; Marques et al. 2003):

- 1) Mensurabilidade ao monitorar;
- 2) Baixo custo;
- 3) Fácil entendimento;
- 4) Integração dos atributos;
- 5) Adaptação e sensibilidade às mudanças;
- 6) Credibilidade;
- 7) Participação social;
- 8) Escala.

Cada área tem sua especificidade, por isso não há indicadores universais. Durante esse processo de seleção dos indicadores adequados é necessário estabelecer os parâmetros adequados àquela área. Segundo Marzall e Almeida (2000), “a aplicabilidade dos indicadores deve ser adequada ao usuário das informações, tanto dos resultados como do processo de leitura e interpretação dos indicadores”. Trabalhos que avaliem a dinâmicas interposta aos agroecossistemas devem levar em consideração tanto a transição agroecológica, como a assimetria flutuante. A expressão assimetria flutuante é usada para denominar todas as anormalidades morfológicas transmitidas geneticamente ou adquiridas por meio de contato com agentes lesivos (perturbações). Essas perturbações a curto ou longo prazo, a depender da escala, geram os impactos ambientais, que estão ligadas a variações ambientais por meio de mutações térmicas, emissão de gases tóxicos, poluição hídrica, alteração química e física do solo, exposição à radiação, variação de alimentação e a exposição a ruídos (Lijteroff et al. 2008). De modo geral estudar os impactos ambientais está intimamente relacionado ao estresse e adaptação de espécies ao ambiente modificado

antropicamente (Ricklefs 2009). A compreensão sobre impactos ambientais advém das ações antrópicas que se intensificaram com os ideais capitalistas industriais e da Revolução Industrial (Silva et al. 2007). Nesse sentido, as Leis e diretrizes ambientais foram criadas para assegurar o limite da produção industrial face o uso dos recursos naturais, porém toda e qualquer ação relacionada à exploração dos bens naturais causa impactos, alguns de pequeno outros a longo prazo. Variações de temperatura, de precipitação, ciclo e incidência solar, acidez do solo ou poluição atmosfera, são mecanismo antrópicos ou naturais que determinam a estabilidade de organismo e podem gerar modificações na diversidade e quantidade em cadeia das espécies (Ricklefs 2009).

5.2.2 Os bioindicadores

Um bioindicador é um indicador ambiental mais sensível, porém natural, aos danos ecológicos, frente a diferenças ou alterações no Meio, por exemplo, a diminuição ou desaparecimento de algumas espécies de formigas, é um bioindicador de alteração no solo ou flora específica em detrimento da ação antrópica. Muitas espécies são incapazes de adaptar-se ecologicamente ou geneticamente da condição ambiental alterada, de modo que sua ausência é de feito um indicio de algum problema (Lijteroff et al. 2008). Entre os muitos espécimes indicadores há as plantas vasculares, as briófitas, as algas, os invertebrados e os vertebrados. Em agroecossistemas toda cobertura vegetal pode ser utilizada na avaliação de impactos ambientais, devido suas características nutritivas e fisiológicas, por exemplo, as raízes das plantas absorvem água em solução com sais (seiva), podendo essa combinação estar contaminada por sais pesados como o arsênio, zinco, entre outros, que foram parar no solo, por atividade antrópicas e que podem ocasionar desde estresse até mutações na planta. De acordo com Santos (2012), tal mecanismo bioindicador se dá devido os vegetais terem maiores níveis fenotípicos do que os animais o que implica em efeitos danosos mais rápidos e significativos potencialmente mais fáceis de serem mensuráveis. Estudos de Marteleto et al. (2004) que tratam de interferências ambientais e adaptações dos organismos, eles destacam que: “cada organismo e programado a responder para produzir um fenótipo pré-determinado, resistindo ou reagindo a distúrbios de natureza genética e/ou ambiental enfrentados durante o seu desenvolvimento” essa capacidade de resposta ao fenótipo de cada indivíduo é denominada “Homeostasia do Desenvolvimento”.

5.2.3 Microrganismos e minhocas como bioindicadores

Os microrganismos (bactérias, leveduras, fungos, actinomicetos, protozoários e algas) constituem a parte matéria orgânica viva, que determina a fertilidade dos solos tropicais e assim, um indicador de qualidade interposta à matéria orgânica. Mudanças na matéria orgânica demoram muitos anos para serem detectadas, porém a curto prazo ocasiona mudanças na diversidade e quantidade de microrganismos. Estudar a atividade microbiana é uma alternativa bioindicadora da qualidade da matéria orgânica. A Embrapa Cerrados é uma entidade que usa os estudos microbiano para monitorar a qualidade dos solos em detrimento da matéria orgânica. Assim: Entre os parâmetros avaliados estão a biomassa e a diversidade microbiana, a respiração e a atividade enzimática do solo. A Biomassa microbiana nada mais é do que a massa (peso) dos microrganismos expresso em grama de C ou de N por kg de solo. A respiração microbiana é determinada com base na captura do CO₂ que é liberado de amostras de solo após um número determinado de dias de incubação. As avaliações de atividade enzimática procuram estimar o potencial de enzimas, de origem predominantemente microbiana, capazes de atuar na ciclagem de elementos tais como o P, C,

N, S e outros. Já as avaliações de diversidade fornecem indicações sobre a variedade de espécies microbianas presentes no solo e também sobre as diversas funções que essas espécies podem exercer (Campo 2010).

As minhocas, conhecidas como “bioindicadores sentinelas”, compreendem de 40% a 90% da biomassa de macrofauna da maioria dos ecossistemas tropicais (Fragoso et al. 1999). A importância das minhocas está na decomposição de resíduos de plantas e ciclagem de nutrientes da matéria orgânica, além da formação dos húmus e de agregados de solo, fertilidade, drenagem e retenção de água por meio das cavidades e canais de seus deslocamentos no solo (Ingham 2006). Nesse sentido, por meio de uso de práticas conservacionistas os solos mantem a biodiversidade e funções ecológica de microrganismos e das minhocas (Figura 5.7). Conforme Shuster et al. (2002), as minhocas são únicas por sua habilidade de integrar processos físicos, químicos e biológicos nos ecossistemas edáficos. Através de seus deslocamentos e de ingestão do solo ou serapilheira contaminados, as minhocas entram em contato com poluentes (Spadotto et al. 2004). Elas expõem e absorvem contaminantes da solução do solo e a partir desse contato, podem se intoxicar, morrer, ou sobreviver, incorporar e até bioacumular esses poluentes em seus tecidos.

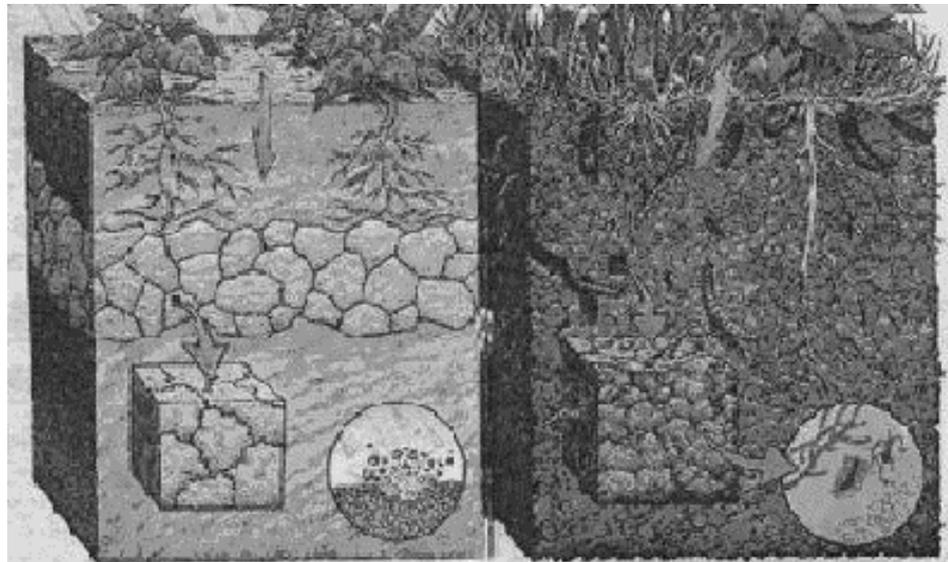


Figura 5.7 Comparativo de um solo sob práticas convencionais e um solo sob práticas ambientais conservacionistas. Fonte: Portal do professor (MEC).

Assim, tanto no nicho ecológico quanto a posição trófica das minhocas, sendo biomagnificação de poluentes ou alimento para outros animais, fazem das minhocas “bioindicadores de ecotoxicidade” de substâncias químicas no solo (Castellanos e Hernandez 2007).

5.3 Mesofauna

O complexo solo-serrapilheira faz parte do habitat natural de uma enorme diversidade de organismos, microrganismos e animais invertebrados que são formados por diferentes tamanhos, metabolismos e funções (Sanginga et al. 1992). A fauna edáfica composta pela mesofauna inclui organismos com tamanho entre 0,2 a 2 mm de comprimento (Berude et al. 2015). Da mesofauna fazem parte algumas classes de invertebrados como ácaros

(Acari), colêmbolos (Collembola), coleópteros (Coleoptera), cupins (Isopteros), dipluros (Diplura), dípteros (Diptera), minhocas (Oligochaeta), palpígrados (Palpigradi), paurópodos (Pauropoda), proturos (Protura), pseudoescorpiões (Pseudoscorpiones) e sínfilos (Symphyla) entre outros (Melo et al. 2009; Barros et al. 2010; Pereira et al. 2012; Morais et al. 2013; Silva e Amaral 2013). Esses organismos invertebrados vivem parte ou todo o seu ciclo de vida no solo, são responsáveis por manter a cadeia trófica e o fluxo de energia edáfica do ecossistema através da mineralização dos resíduos orgânicos (Antoniolli et al. 2006), como também fragmentam o material vegetal em decomposição (Morais et al. 2013), além de serem associados a ciclagem dos nutrientes, revolvimento do solo e incorporam a matéria orgânica, bem como fazem o controle biológico de organismos praga do solo (Melo et al. 2009).

A mesofauna habita desde a zona epígea ou zona da vegetação que fica acima do solo, como também níveis orgânicos ligados à superfície do solo conhecida como zona hemiedáfica, assim como podem ser encontrados em partes mais profundas do solo, a zona euedáfica (Wallwork 1976; André et al. 1994; Rovedder et al. 2008). A maioria desses organismos preferem as camadas mais superficiais do solo, especialmente entre os primeiros cinco a sete centímetros (Sheals 1957; Berg e Pawluk 1984; Filser 1992; Carvalho 1997; Costa 2004). Movimentam-se na interface do solo, poros e fissuras, se alimentam dos resíduos orgânicos e de animais pequenos, além de controlar a população de microrganismos, nematóides e da microfauna (Melo et al. 2009). Devido ser desprovidos de estruturas fossoriais e de tamanho muito pequeno, esses organismos utilizam os caminhos construídos pela macrofauna, com minhocas, formigas e cupins (Morais et al. 2013).

Sua diversidade e abundância em ecossistemas naturais são descritos como um ponto importante para manutenção dos processos de decomposição e mineralização da matéria orgânica, uma vez que suas atividades influenciam na fertilidade do solo assim como no funcionamento do ecossistema. Essa composição da fauna edáfica é essencial para manter a sustentabilidade das espécies, tendo em vista o fornecimento de alimento para adaptação, sobrevivência e evolução das populações animais e vegetais (Rajora e Mosseler 2001). A mesofauna pode influenciar nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Gercócs e Huffnagel 2009). Quando mencionada as propriedades físicas, influenciam melhorando a aeração, a porosidade e infiltração de água (Sanginga et al. 1992), quanto à química, atua na ciclagem dos nutrientes ao solo, contribuem na fertilidade do solo, mineralização da matéria orgânica, fixação de nitrogênio entre outros (Correia 2002), e nas propriedades biológicas seu papel está ligado as interações mutualísticas e no controle das populações de microrganismos (Gercócs e Huffnagel 2009).

Alguns fatores podem prejudicar ou até mesmo reduzir as populações de mesofauna, dentre elas as alterações físicas como a subsolagem, o revolvimento do solo, a escarificação, compactação do solo e consequente diminuição da porosidade dificultam a capacidade de criar galerias no solo, bem como podem interferir na distribuição da matéria orgânica e ainda pode causar variação na temperatura e umidade do solo (Moço et al. 2005). Os ácaros e colêmbolos são as ordens de maior abundância e diversidade de mesofauna nos solos, e no Brasil, os ácaros representam aproximadamente 1.000 espécies (Melo et al. 2009).

5.3.1 Ácaros

Na ordem Acari os maiores representantes são os carrapatos e ácaros, esses organismos possuem corpo sem divisão por regiões, nas fases pós-larvais, dotados de quatro pares de patas, apêndices articulados e o esqueleto externo. Os ácaros em grande parte medem cerca de 0,1 a 0,2 e 1,5 a 2 mm de comprimento e estão distribuídos em grande número no solo. Sua distribuição, composição e densidade estão relacionadas com a profundidade dos solos, o local, a estação do ano e o tamanho dos ácaros (Lavelle e Spain 2001). A grande maioria das espécies de ácaros se alimenta da matéria orgânica em decomposição, de fungos e algas (Petersen e Luxton 1982). De acordo com Behan-Pelletier (1999), os ácaros estão presentes em todas as partes, desde o perfil do solo até a serrapilheira,

na superfície de gramíneas, assim como também em árvores, galhos e folhas. São resistentes a temperaturas extremas e a condições de seca, isso explica sua ampla colonização nos mais diversos tipos de solo (Lavelle e Spain 2001). Algumas espécies de ácaros são consideradas parasitas de animais e plantas, embora a maioria tenha um papel de suma importância no que diz respeito ao controle insetos indesejáveis e/ou plantas daninhas, outras espécies por sua vez, são fundamentais na decomposição dos resíduos orgânicos, na ciclagem de nutrientes e na formação do solo (Behan-Pelletier 1999).

5.3.2 Colêmbolos

A ordem Collembola, inclui indivíduos com tamanho corporal entre 0,2 e 9 mm (Hatfield e Stewart 1993; Baretta et al. 2008), possuem o corpo globoso e alongado, cabeça pequena dotados de antenas curtas, apresentam aparelho bucal do tipo mastigador, podem variar quanto a sua coloração, além de possuírem um abdômen com uma estrutura chamada de fúrcula, dito como saltatório que lhes permitem saltar a alturas com até 10 cm (Gallo et al. 2002). Alimentam-se de resíduos orgânicos em decomposição, de líquens e fungos (Hatfield e Stewart 1993). Os colêmbolos são encontrados nos mais diversos ambientes, desde a serrapilheira, nas árvores, na água doce e no litoral marinho e são fontes de alimento para outros invertebrados como aranhas e coleópteros (Bellinger et al. 2007; Baretta et al. 2008). Alguns fatores como temperatura, umidade do solo, a disponibilidade de matéria orgânica e alimento na área podem determinar o habitat ideal para reprodução e crescimento desses organismos assim como também influenciar a distribuição destes ao longo do perfil do solo (Arbea et al. 2001). Os ácaros e colêmbolos por formarem os grupos com maior representação e distribuição no solo, são capazes de influenciar de forma indireta a fertilidade do solo através da estimulação da atividade microbiana, assim como pela distribuição de esporos, além de controlar as populações de fungos e bactérias que são causadoras de doenças (Figura 5.8) (Lavelle 1996).

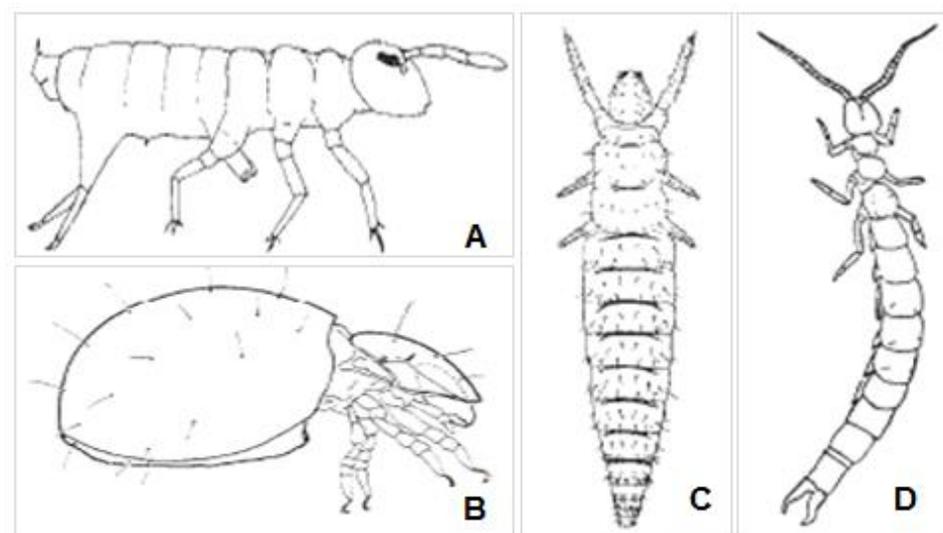


Figura 5.8 Mesofauna do solo. (A) Collembola, Adaptado de Christiansen (1990). (B) Acari, Adaptado de Norton (1990). (C) Protura, Adaptado de Copeland e Imadate (1990). (D) Diplura, Adaptado de Fergusson (1991).

5.3.3 Metodologia para coleta de mesofauna

a) Aparelho de Berlese

Uma metodologia muito utilizada é a extração dos organismos pelo aparelho de Berlese para a quantificação e identificação das populações constituintes da fauna edáfica (macrofauna e mesofauna). O método de Berlese consiste em um sistema de extração dos organismos do solo formado por funis com o objetivo de separar pequenos artrópodes do solo, proposto no final do século XIX por Antônio Berlese. Inicialmente o sistema era constituído de funis com paredes duplas de bronze onde através dessas paredes circulava água quente, que resseca lentamente as amostras de solo. Mas no início do século XX, Tullgren modificou e adaptou o método proposto por Berlese, onde substituiu a água por lâmpadas elétricas, que foram instaladas na parte superior dos funis que contém as amostras de solo (Figura 5.9). Abaixo dos funis é colocado um frasco coletor contendo etanol 96% como líquido mortífero/preservativo onde é recolhido a cada 4 a 5 dias de intervalo (Karyanto et al. 2010). Quanto à eficiência desse método, apesar da menor eficiência em comparação com outros métodos de amostragem, o método de Berlese-Tullgren e o de Berlese consistem nos métodos de extração mais utilizados para identificação da diversidade e densidade da mesofauna do solo (André et al. 2002). Uma vantagem da utilização desse método consiste em seu custo na construção, pois é mais barato e de fácil construção (Franklin e Morais 2006).

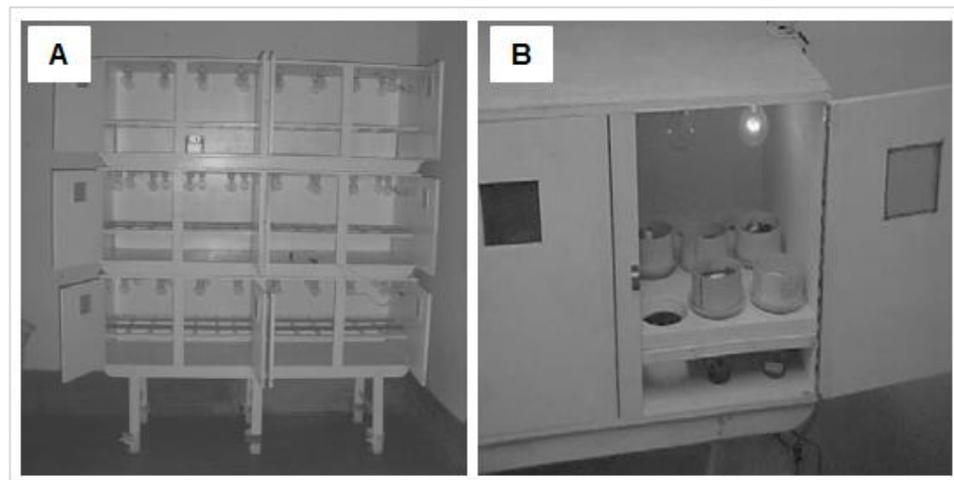


Figura 5.9- Armários adaptados com funis de Berlese-Tullgren. (Observação: as pernas dos armários são mantidas em recipientes contendo água para evitar a invasão por invertebrados e comprometer as análises. B) Aparelho de Berlese-Tullgren em funcionamento equipado com uma peneira de 2x2 mm (13 de malha), adequado para a secagem não assistida (sem luz). Adaptado de Karyanto et al. (2010)

Devido à temperatura elevada e a secagem do solo os organismos migram para as camadas mais profundas do solo da amostra, caem nos funis e direcionam para os frascos receptores, devidamente identificados, contendo a solução preservante para o recolhimento dos organismos (Figura 5.10). Os organismos capturados serão identificados e contados com o auxílio de uma lupa binocular (Aquino 2005).

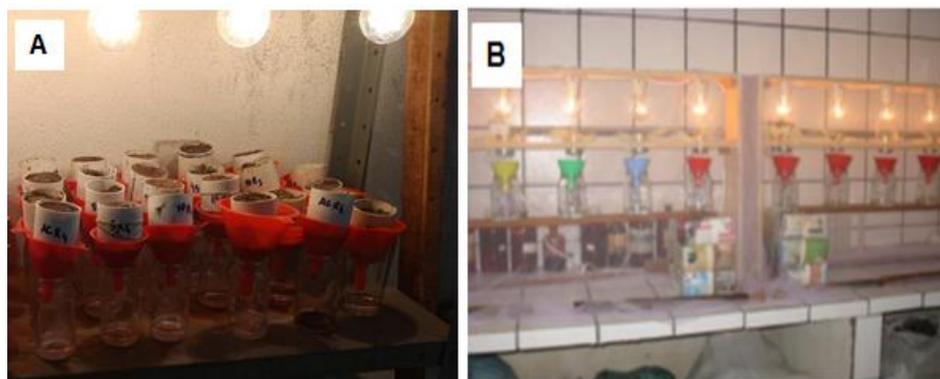


Figura 5.10 Aparelho extrator de ácaros e colêmbolos das amostras de solo pelo método de funil de Berlese-Tullgren adaptado. (A) Lucena (2017) e (B) Souto (2006).

5.4 Anelídeos

O filo dos anelídeos é representado por vermes com o corpo segmentado, dividido em anéis. Estes compreendem cerca de 15 mil espécies, as quais vivem no solo úmido, na água doce ou na água salgada. Podendo ser parasitas ou de vida livre. Os anelídeos são divididos em três grupos: oligoquetos, poliquetos e hirudíneos. Os Oligoquetos apresentam poucas cerdas por anel, não possuem parapódios (pequenas projeções do corpo que auxiliam a locomoção) nem cabeça diferenciada do restante do corpo.

O principal representante desse grupo é a minhoca, a qual tem a pele coberta por uma película fina e produz uma substância viscosa que faz com que seu atrito com o solo diminua, protege a pele do contato com substâncias tóxicas e mantém a umidade, fundamental para a respiração cutânea. Os Poliquetos possuem muitas cerdas em cada segmento, apresentando um par de projeções laterais (parapódios), nos quais estão implantadas as cerdas. Estes são carnívoros, muitas vezes, são canibais, isto é, devoram outros poliquetos. Faz parte desse grupo, os Nereis.

Os Hirudíneos também conhecidos como aquetos, não apresentam cerdas e possuem ventosas, as quais ajudam na sua fixação e locomoção. Pertence a esse grupo, a sanguessuga, anelídeo hermafrodita que vive em solo úmido e pantanoso ou em água doce. Esta se alimenta principalmente do sangue de outros animais, sugando-o através das ventosas, mas também pode se alimentar de minhocas e de restos de animais. É de pequeno porte, tendo comprimento variando de 1 a 20 centímetros. Neste tópico é apresentado as características gerais e importância do grupo dos oligoqueta, representado pelas minhocas, as quais estão entre os primeiros animais a surgir na face da terra e são provavelmente os mais importantes macroanimais na maioria dos solos.

5.4.1 Características gerais das minhocas

As minhocas são organismos muito importantes do solo, as quais pertencem ao Domínio Eukarya, Reino Animalia, Filo Annelida, Classe Clitellata, Subclasse Oligochaeta (Ruppert 2005; Madigan et al. 2010). São hermafroditas ovíparas e se alimentam de detritos, matéria orgânica do solo e microorganismos encontrados nesses materiais. Elas não comem as plantas vivas ou suas raízes, não agindo assim como pragas para as culturas (Brady e Weil 2013). No mundo são relatadas mais de 8.800 espécies de minhocas, embora estima-se que haja uma

diversidade muito maior (Reynolds e Wetzel 2007). Segundo Brown e James (2007), no Brasil existem registros de aproximadamente 310 espécies/subespécies catalogadas. As minhocas podem ser agrupadas de acordo com seus hábitos escavadores e habitat correspondentes, de acordo com a classificação de Bouché (1977), em:

- a) Minhocas epigeicas: são pigmentadas, de tamanho pequenas e vivem na camada de serrapilheira ou no horizonte mineral superficial próximo da superfície, como por exemplo a minhoca comum, *Eisenla foetida*, a qual é encontrada nos resíduos em processo de compostagem, fazendo o papel de acelerar a decomposição dos resíduos vegetais, mas sem construir galerias no solo.
- b) Minhocas endogeicas, como as *Allobophora caliginosa*, conhecida como minhoca vermelha, vivem principalmente nos primeiros 10 a 30 cm do solo, fazendo orifícios rasos, em grande parte horizontais e tem preferência por material rico em matéria orgânica.
- c) Minhocas anécicas, as quais apresentam pigmentação dorsal, são consideradas relativamente grandes e constroem galerias verticais extensas e permanentes. Elas emergem em tempo chuvoso ou à noite para se eliminar de litter, incorporando-o ao solo. São pouco conhecidas na América Latina (RIGHI, 1999). A mais comum é a minhoca noturna (*Lumbricus terrestris*).

5.4.2 Efeito das minhocas sobre o solo

As minhocas apresentam função pedoecológica essencial, pois, realizam atividades que influenciam nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, promovendo o aumento da aeração, a estabilidade de agregados, infiltração da água, a mistura de materiais orgânico e mineral, bem como a decomposição dos resíduos vegetais (Bohlen 1996). Isto explica-se devido aos seguintes fatos:

- 1) Elas se alimentarem à medida que perfuram o solo, criando extensos sistemas de galerias, as quais tanto vazias como preenchidas com seus excrementos, oferecem importantes vias para as raízes das plantas penetrarem as camadas de um solo adensado;
- 2) Menos de 10% do material orgânico que é ingerido por elas é assimilado, fazendo com que em suas fezes fique muito material em vários graus de processamento, os quais estão prontamente disponíveis para às plantas (manual). Esses cropólitos ou pelotas fecais possuem secreções que contém humato de cálcio, produzidos no intestino da minhoca e cálcio liberado pelas glândulas calcíferas que cimentam as partículas do solo (Edwards e Bohlen 1996);
- 3) Dependendo da minhoca, as pelotas são depositadas em superfície ou dentro do perfil do solo e a quantidade pode ser utilizada na avaliação do grau de atividade desses anelídeos no solo. Essas podem melhorar a fertilidade do solo porque alteram suas condições químicas, principalmente nas suas camadas superiores, de 15 a 35 cm. Comparando-se ao solo como um todo, as pelotas fecais possuem maiores quantidades de bactérias, de matéria orgânica e de nutrientes disponíveis às plantas. Como as raízes crescem para baixo seguindo a direção das tocas das minhocas, estas encontram ricas fontes de nutrientes nas pelotas e nos materiais que revestem as suas galerias. Quando morrem e se decompõem, os nutrientes presentes no corpo das minhocas são prontamente liberados e disponibilizados às plantas (Brady e Weil 2013).
- 4) Os efeitos apresentados pelas atividades das minhocas nem sempre apresenta benefícios. Um exemplo é a *Lumbricus terrestris* que no processo de construção dos monturos de seus rejeitos, pode deixar até cerca de 60% da superfície do solo desnuda. A ação de construção de galerias que pode não ser sempre bem-vinda, como ocorre em florestas com espessas camadas de serrapilheira. E também a água de

percolação que se desloca rapidamente para baixo, no sentido vertical das tocas das minhocas, podendo levar poluentes para as águas subterrâneas (Brady e Weil 2013).

- 5) A presença, abundância e diversidade de minhocas podem indicar o impacto causado por atividades antrópicas em ecossistemas agrícolas e naturais. Porém, o uso destes animais como indicadores ambientais continua limitado na América Latina, especialmente devido às limitações no conhecimento relacionados a biologia básica, ecologia e taxonomia da maioria das espécies presentes nos nossos agroecossistemas (Brown e Domínguez 2010).

5.4.3 Fatores que afetam a atividade das minhocas

As minhocas preferem os solos frescos, úmidos e bem-aerados, bem supridos com materiais orgânicos decomponíveis, preferencialmente fornecidos como cobertura morta do solo. Em regiões de clima temperado, elas são mais ativas na primavera e no outono. Nos períodos secos e quentes, muitas vezes elas se entalam em forma de uma bola para se protegerem. Não vivem em condições anaeróbias, nem prosperaram em areias grossas. Algumas espécies são um pouco tolerantes a pH baixo, mas a grande maioria se desenvolve melhor onde o solo não é muito ácido, em pH de 5,5 a 8,5 e onde tenha uma abundante fonte de cálcio (componente importante da mucilagem que as mesmas excretam). A maioria é bastante sensível ao excesso de salinidade. Outros fatores que interferem nas populações de minhocas são: os predadores (toupeiras, ratos e certos ácaros e centopeias); os solos muito arenosos (devido ao efeito abrasivo de grãos cortantes de areia); o contato direto com adubos amoniacais; a aplicação de inseticidas (principalmente certos carbamatos) e; o preparo do solo (Brady e Weil 2013), que pelo fato de provocar o revolvimento do solo pode reduzir as populações e, conseqüentemente, a atividade e os benefícios destes organismos no meio edáfico (Brown e Domínguez 2010).

Essa redução do número de minhocas em áreas agrícolas decorre diretamente da morte dos organismos em virtude das lesões causadas pelos equipamentos utilizados no revolvimento do solo, ou ainda indiretamente, através da destruição das galerias, redução das fontes de alimento, alteração da temperatura, umidade e aeração do solo (Curry et al. 2002). A comunidade de minhocas de um determinado local deve-se as condições edáficas (tipo de solo, mineralogia, teor de matéria orgânica, textura, estrutura, temperatura, umidade e valor de pH), a vegetação (espécie e cobertura), a topografia (posição fisiográfica, inclinação), ao clima (precipitação, temperatura, umidade relativa do ar, vento), as interações com outros organismos edáficos, bem como as condições históricas que dão origem ao solo e a história humana e geológica do local (Brown e Domínguez 2010). Dados relacionados a comunidade presente podem indicar a integridade do ecossistema do local e sua capacidade de resistir a perturbações, podendo ser utilizados na escolha de áreas prioritárias para atividades de conservação (Brown e James 2007). Assim, o levantamento e a identificação das espécies nativas e exóticas presentes no solo são relevantes para o conhecimento da diversidade e para a compreensão das inter-relações existentes nos ecossistemas.

5.4.4 Metodologia para extração de minhocas do solo

A metodologia para extração de minhocas do solo aqui apresentada é proposta por Steffen et al. (2010), na qual utiliza-se extrato de cebola. Para realização da mesma, são necessárias as seguintes etapas:

- a) Etapa de campo, onde deve-se realizar o reconhecimento da área, traçar um transecto na área de amostragem, com, no mínimo, 50 a 100m e demarcar entre 5 a 10 amostras, com distancias mínimas de 5,0 m entre si. Em cada local de amostragem, deve-se limpar a área de aproximadamente 1 m², retirando a cobertura vegetal com auxílio de uma enxada. Em seguida fixa-se um anel metálico no solo e cuidadosamente insere-o a 5,0 cm, adicionando-se lentamente a solução de extrato de cebola 17,5%. Após a solução infiltrar no solo, aguardar 10 minutos e com uma pinça, coletar as minhocas que foram expulsas das galerias e transferi-las para um béquer contendo álcool 70% e transporta-las para laboratório.
- b) Etapa de laboratório – nesta, as minhocas devem ser mantidas em álcool 70% durante um período de 3 a 6 horas. Posteriormente, lavar bem as minhocas com agua destilada utilizando uma pisseta e seca-las com papel toalha por um minuto, realizar a contagem e pesagem em balança de precisão centesimal.
- c) Cálculo – O número ou biomassa fresca por m² será igual a média de cinco anéis multiplicada por fc (1m² / área do anel (0,1301 m²) = 7,7)
- d) Estimar a densidade populacional, biomassa fresca e realizar a identificação das famílias.

5.5 Nematoides

Os nematoides são o grupo de animais considerados os mais abundantes e diversificados da Terra. Estes são vermes que possuem o corpo em formato cilíndrico, geralmente alongado, com as extremidades afiladas e tamanho bastante variável, se alimentam por sucção, são ovíparos e pertencem ao filo Nematoda. São de nominados animais eumetazoários por apresentarem corpo formado por células que são agrupadas em tecidos, os quais são grupados em órgãos e esses em sistemas. Apresentam sistemas muscular, digestivo, reprodutivo, nervoso e excretor, mas são desprovidos de sistema respiratório e circulatório. A reprodução para maioria das espécies é anfimítica ou cruzada, mas pode ser por hermafroditismo e partonegênese (Moreira et al. 2013).

Estima-se que existe mais de um milhão de espécies de nematoides, das quais, apenas cerca de 30 milhões são conhecidas. A classificação desses animais pode ser feita utilizando-se vários critérios. Podendo estes serem classificados como de vida livre e parasitas, ou quanto aos grupos tróficos, ou serem separados em parasitas de plantas e parasitas de animais e, assim, em várias categorias. No entanto, esses critérios devem contar com o aporte taxonômico que visa elucidar as relações filogenéticas entre indivíduos e entre grupos de nematoides (Moreira et al. 2013). Toda diversidade dos nematoides está distribuída em duas classes baseadas nas características morfológicas e sequencias do DNA ribossomal: a Enplea e a Choromedorea (Ley e Blaxter 2002). Estas classes são distribuídas nos diferentes ambientes aquáticos e terrestres, apresentando membros dotados de diferentes habilidades tróficas, tanto de vida livre como parasitas de animais e plantas (Moreira et al. 2013).

Os nematoides do solo apresentam características que os permitem ser considerados como indicadores ecológicos pela sua abundância no solo, facilidade na identificação do seu grupo funcional, sua larga distribuição e a presença de diferentes grupos tróficos (Curry 1994; Yeates et al. 1993). Eles são utilizados como indicadores de qualidade de solos (Bongers 1990), bioindicadores para características de solos (Goede e Bongers 1994) assim como de estabilidade de habitat (Wasilewska 1994).

5.5.1 Grupos tróficos de nematoides

As comunidades tróficas dos nematoides são compostas de diversas espécies, as quais são classificadas de acordo com seus hábitos alimentares em cinco grupos principais: os parasitas de plantas (fitófagos), bacteriófagos, micófagos, predadores e onívoros (Bongers 1990). Entre esses grupos, os fitófagos são os mais conhecidos e mais estudados em virtude dos danos que podem causar à agricultura, mas também por serem ecologicamente importantes, pois podem consumir de 7 a 10% da matéria seca em pastagens naturais ou 2 a 3% da produção de raízes (Curry 1994), podendo interferir em processos biológicos que a planta utiliza para aumentar o processo produtivo, como a nodulação rizobiana (Mattos et al. 2006).

5.5.2 Funções ecológicas dos nematoides no solo

As funções ecológicas dos nematoides no solo envolvem o processo de decomposição de matéria orgânica, a mineralização de nutrientes, a degradação de toxinas e a regulação da população de micro-organismos (Bongers e Ferris 1999), o que pode estimular o desenvolvimento das plantas (Fu et al. 2005). Estando relacionada à ciclagem de nutrientes, por estes contribuírem para a regulação da fertilidade do solo, através do fluxo de energia, da imobilização e da utilização de nutrientes. Sendo, os mais abundantes no solo, os nematoides bacteriófagos do que fungívoros, os quais, no entanto, são menos abundantes que parasitas de plantas. Sendo os predadores e onívoros os que se apresentam em menor número (Moreira et al. 2013). Nematoides fungívoros e bacteriófagos afetam a atividade de fungos e bactérias, conseqüentemente, afetando também os processos que são realizados por esses microrganismos. Os nematoides microbiófagos contribuem direta e indiretamente para o processo de decomposição de matéria orgânica em diversas condições ambientais, podendo aumentar as taxas de mineralização de carbono (respiração) e de outros nutrientes (Mikola e Setälä 1998).

Os prováveis mecanismos utilizados pelos nematoides para que estes efeitos ocorrem são: transporte dos microrganismos para microhabitats do solo que contém mais e melhores recursos ou fontes de alimento, o que promove o aumento no crescimento microbiano; fornecimento de excretas e alimento parcialmente digerido que servem como fonte de energia para microrganismos; ingestão das hifas senescentes pelos nematoides fungívoros, removendo metabólitos secundários que são responsáveis pela inibição do crescimento fúngico e; o aumento do crescimento microbiano através dos nematoides microbiófagos, quando estes encontram-se em populações não muito altas e a alimentação dos nematoides ocorre em nível considerado ótimo (Niles e Freckman 1998; Goulart 2007). Outra função dos nematoides no solo é a redistribuição de recursos de uma forma mais assimilável para outros consumidores, o que estimula populações de certos microrganismos (Fu et al. 2005). Estima-se que até 40% do carbono que é ingerido por nematoides bacteriófagos é liberado pela cutícula dos mesmos na forma de CO₂, o qual retorna à atmosfera e é disponibilizado para a fotossíntese (Ferris et al. 1995) e o nitrogênio é excretado como amônio, forma disponível para a população bacteriana no solo e assimilável pelas plantas (Yeates et al. 2009).

É importante salientar que segundo Bongers e Ferris (1999), os nematoides são considerados bons bioindicadores em estudos da qualidade dos solos porque estão entre os metazoários mais simples, com ocorrência em qualquer ambiente que tenha uma fonte de carbono orgânico, em todos os tipos de solo, sob variadas condições climáticas e habitats, de equilibrados a extremo distúrbio; por estes viverem em filmes de água e sua cutícula permeável dirigir-se o contato com o solo; por não migrarem rapidamente de condições estressantes e várias espécies sobreviverem à desidratação, congelamento ou estresse de oxigênio; por ocuparem importantes posições

nas redes alimentares do solo; por ser possível observar suas características internas sem necessidade de dissecação, pois são transparentes; pelo hábito alimentar ser facilmente identificado de acordo com a estrutura da cavidade bucal e faringe e; por responderem rapidamente à perturbação e enriquecimento nutricional que ocorre no ambiente.

5.5.3 Metodologia para identificação de nematoides

Existem vários métodos para identificação de nematoides, mas o mais utilizado em todo o mundo é o método de Jenkins (1964) que consiste no peneiramento e flutuação em centrífuga. O passo inicial para identificação de nematoides em uma determinada área é a coleta de amostras de solo e/ou raízes, de preferência de ambos. Deve-se coletar o solo no perfil de 0 até 25-30 cm de profundidade, onde se concentra a maior parte do sistema radicular e, portanto, a maioria dos nematóides fitoparasitos.

O número de amostras a serem coletadas e se esta deve ser simples ou composta depende do tamanho da área a ser avaliado. Estas devem ser acondicionadas em sacos plásticos e devidamente identificadas para serem transportadas ao laboratório. No laboratório nematológico, para cada amostra, as raízes devem ser separadas do solo. A extração dos nematóides do solo é feita através da combinação de fases de peneiramento e centrifugação, permitindo a separação dos nematóides presentes na amostra da matéria orgânica e das frações arenosa e argilosa do solo. As etapas são as descritas a seguir:

- a) O solo é bem misturado para desfazer eventuais torrões, usando luvas para cobrir as mãos. Separa-se o volume de solo a ser processado (em geral de 200 a 300 ml) e deposita-se no fundo de um balde plástico;
- b) Adiciona-se volume de água equivalente a dez vezes o volume de solo (dois a três litros). Agita-se fortemente e deixa-se descansar por 15 segundos. A fração mais pesada do solo (partículas de areia e argila) vai ao fundo e fica uma suspensão turva (parda ou pardo avermelhada);
- c) Sem deixar descansar, filtra-se com cuidado a suspensão através de duas peneiras granulométricas, a de número 20 sobreposta à de número 400, evitando-se que o material depositado no fundo chegue a ser arrastado. Podendo-se realizar o peneiramento em duas etapas, primeiro com a peneira de número 20 e depois com a de 400, o que é indicado no caso de solos mais argilosos. Posteriormente lava-se a peneira com água e recupera-se em um béquer todo o material que ficar retido;
- d) Transfere-se o líquido para um tubo de centrífuga, equilibra a mesma rigorosamente e liga por 5 minutos à velocidade de 1800-2000 giros. Após esse tempo, observa-se que a argila depositou no fundo do tubo arrastando consigo os nematóides, formando um sedimento; a matéria orgânica, por ser muito leve, fica na superfície da água e é eliminada ao sobrenadante ser descartado;
- e) Separa-se os nematóides da argila. Nesse sentido, adiciona-se ao tubo um certo volume de solução de sacarose de densidade conhecida, igual a 1,15 (750 ml de água e 400 g de batidos em liquidificador). Liga novamente a centrífuga por um minuto a 1900-2000 giros, nessa etapa, a argila irá novamente depositar-se no fundo, mas os nematóides não mais serão arrastados e permanecerão em suspensão na solução de sacarose;
- f) Despeja a solução em uma peneira de número 500, de malha muito fina, sem permitir que o sedimento de argila do fundo do tubo seja arrastado; a solução açucarada atravessará e será descartada, ficando os nematóides retidos na peneira. Lava-se a peneira e com auxílio de uma pisseta recupera-se os nematóides

em água limpa. Transfere o material para potes de vidro ou placas de Petri para ser examinado em um estereoscópio.

- g) Essa técnica é eficiente na maioria dos gêneros de fitonematóides vivos e mortos, além de ser rápida.

5.6 Fungos do solo (Filos Ascomycota e Basidiomycota)

Os fungos são organismos (unicelular e multicelular) que convive conosco todos os dias, com papel importante quando utilizado para fins úteis, a exemplo da ecologia e do setor econômico. Praticamente esses microrganismos são encontrados em todos os ambientes, em formas de esporos ou conídios (Gompertz et al. 2008). Sua importância no ponto de vista ecológico é por participar como parasitas ou simbióticos em organismos vivos e na decomposição e degradação de resíduos orgânicos, e no setor econômico com implicações em diversas áreas, a exemplo da medicina, nutricional, agrícola, fitopatologia entre outros. No solo tem importância na decomposição de material orgânico, ciclagem de nutrientes, e na simbiose ou parasitando as plantas ou outros organismos vivos presentes no habitat (Hyde 1997).

Os fungos constituem o reino Fungi onde são divididos em setes filos (Chytridiomycota, Neocallimastigomycota, Blastocladiomycota, Microsporídia, Glomeromycota, Ascomycota e Basidiomycota) muitos são macroscópicos (apresentam tamanho considerável), porém em geral são organismo microscópico assim dificultando o registro dessas espécies. Vivem como parasitas, saprófitos e simbiotes e sendo principalmente decompositores (Maia et al. 2006).

No solo há um destaque para os grupos Ascomycota e Basidiomycota que são responsáveis pela reciclagem de nutrientes, decomposição da matéria orgânica e doenças de plantas (Moreira et al. 2008). O maior grupo de fungos é o filo Ascomycota, sendo registrado mais de 32.000 espécies, com 3.328 gêneros agrupados em mais de 270 famílias (Kirk et al. 2001). São considerados cosmopolita e encontrados na natureza, tendo como principal característica a presença de asco (estruturas em formas de sacos responsáveis pela reprodução sexuada) contendo ascósporo, apresentando reprodução sexuada e podendo encontrar também reprodução assexuada (Alexopoulos et al. 1996). Alguns grupos saprófitos encontrados no solo desse filo são: *Clonostachys* (*Gliocadium*), *Trichoderma*, *Penicilium*, *Coniothyrium* entre outros, os entomopatógenos: *Beauveria*, *Pochonia*, *Metarhizium* e *Paecilomyces*. Também existem alguns parasitas de vegetais, a exemplo da espécie *Cryphonectria parasitica* que ataca folhas de castanheira (Moreira et al. 2008).

Basidiomycota é o grupo de fungos considerado mais evoluído no reino, devido à complexidade de estruturas que pode formar. Há registro de mais de 29.900 espécies, com 1.350 gêneros, em 130 famílias, sendo considerado o segundo maior grupo de fungos (Kirk et al. 2001). São cosmopolita e saprófitos, tem como principal característica a presença de basídio (estrutura responsável pela produção de esporo) e apresenta reprodução sexuada e assexuada. Muitas das espécies desse filo são responsáveis de transformar moléculas de lignina, celulose e hemicelulose em CO₂ e água, e secretar enzimas que pode desestabilizar e/ou quebrar moléculas orgânicas, dentre esses fungos podem ser divididos em dois grupos, sendo eles: causadores de podridão branca e parda, em muitos dos casos essa ocorrência de podridão é em madeira (Ryvarden e Johansen 1980). Os filos *Ascomycota* e *Basidiomycota* do Sub-Reino *Dikarya* dentro do Reino Fungi pode ser classificado usando a hierarquia taxonômica proposta por Linnaeus, porém neste capítulo foram feitas modificações propostas pelo Código de Nomenclatura Botânica (*Code of Botanical Nomenclature – Code*) utilizando 4 níveis hierárquicos demonstrada na tabela 5.2. Algumas espécies desses filos são prejudiciais às plantas, causando doenças ao promover um distúrbio no metabolismo celular pela secreção de enzimas, fitorreguladores, toxinas e outras substâncias (Bedendo 1995). Na tabela 5.3 estão relacionados alguns gêneros que pode infeccionar as plantas com seu respectivo agente causal.

Tabela 5.2 Classificação dos níveis hierárquicos para os fungos em geral

Níveis Taxonômicos dos Fungos	Sufixo
Filo	Mycota
Subfilo	Mycotina
Classe	Mycetes
Ordem	ales
Família	aceae
Gênero	sem radical específico
Espécie	sem radical específico

Adaptado de Gompertz et al. (2008)

Tabela 5.3 Doenças provocadas por espécies de fungos dos Filos Ascomycota e Basidiomycota

Gênero	Tipo de infecção	Agente causal
----- Ascomycota -----		
<i>Alternaria</i>	Fitopatógenos	<i>Alternaria</i> spp.
<i>Bipolaris</i>	Fitopatógenos	<i>Bipolaris</i> spp.
<i>Botrytis</i>	Fitopatógenos	<i>B. cinérea</i>
<i>Ceratocystis</i>	Fitopatógenos	<i>Ceratocystis</i> spp.
<i>Cercospora</i>	Fitopatógenos	<i>Cercospora</i> spp.
<i>Cochilobolus</i>	Queima das folhas do milho	<i>C. heterotrophus</i>
<i>Corynespora</i>	Fitopatógenos	<i>Corynespora</i> spp.
<i>Colletotrichum</i>	Fitopatógenos	<i>Colletotrichum</i> spp.
<i>Cryphonectria</i>	Cancro-do-castanheiro	<i>C. parasítica</i>
<i>Cylindrocladium</i>	Fitopatógenos	<i>Cylindrocladium</i> spp.
<i>Cylindrocladiella</i>	Fitopatógenos	<i>Cylindrocladiella</i> spp.
<i>Didymella</i>	Fitopatógenos	<i>Didymella</i> spp.
<i>Exserohilum</i>	Fitopatógenos	<i>Exserohilum</i> spp.
<i>Fusarium</i>	Ferrugem	<i>Fusarium</i> spp.
<i>Monilinia</i>	Queima dos frutos	<i>Monilinia</i> spp.
<i>Ophiostoma</i>	Doença holandesa do ulmeiro	<i>O. ulmi</i>
<i>Pestalotiopsis</i>	Fitopatógenos	<i>Pestalotiopsis</i> spp.
<i>Phomopsis</i>	Fitopatógenos	<i>Phomopsis</i> spp.

<i>Pilidiella</i>	Fitopatógenos	<i>Pilidiella</i> spp.
<i>Pseudocercospora</i>	Fitopatógenos	<i>Pseudocercospora</i> spp.
<i>Pyrenochaeta</i>	Fitopatógenos	<i>Pyrenochaeta</i> spp.
<i>Pyricularia</i>	Fitopatógenos	<i>Pyricularia</i> spp.
<i>Septoria</i>	Fitopatógenos	<i>Septoria</i> spp.
<i>Sclerotinia</i>	Fitopatógenos	<i>Sclerotinia</i> spp.
<i>Taphrina</i>	Enrolamento das folhas	<i>T. deformans</i>
<i>Uncinula</i>	Oídio da videira	<i>U. necator</i>
<i>Verticillium</i>	Fitopatógenos	<i>Verticillium</i> spp.
----- Basidiomycota -----		
<i>Austrobasidium</i>	Parasitas de plantas	<i>A. pehueideni</i>
<i>Ceraceosorus</i>	Fitopatógenos	<i>C. bombacis</i>
<i>Conidiosporomyces</i>	Abortamento de flores	<i>C. verruculosus</i>
<i>Entorrhiza</i>	Hipertrofia e hiperplasia radicular	<i>E. casparyana</i>
<i>Entyloma</i>	Carvão-da-folha	<i>E. dahliae</i>
<i>Exobasidium</i>	Queima-foliar e Patógeno de plantas	<i>E. vaccinii</i> <i>E. rhododendri</i>
<i>Gymnosporangium</i>	Fitopatógenos em macieiras	<i>G. juniperi-virginianae</i>
<i>Helicobasidium</i>	Fitopatógenos	<i>H. compactum</i> <i>H. longisporum</i> <i>H. purpureum</i>
<i>Microbotryum</i>	Parasitas	<i>M. violaceum</i> <i>M. silenes-dioicae</i>
<i>Puccinia</i>	Ferrugens e carvões	<i>Puccinia</i> spp.
<i>Quambalaria</i>	Formação de cancos	<i>Quambalaria</i> spp.
<i>Rhizoctonia</i>	Fitopatógenos	<i>R. solani</i>
<i>Salmacisia</i>	Hermafroditismo parasítico	<i>S. buchloëana</i>
<i>Tilletia</i>	Carie em cereais	<i>T. horrida</i>
<i>Urocystis</i>	Mofa-cinza e podridões	<i>Urocystis</i> spp.
<i>Ustilago</i>	Carvão-do-milho	<i>U. maydis</i>
<i>Volvocisporium</i>	Ferrugens	<i>V. triumfeticola</i>

Fonte: Adaptado Souza (2016).

5.7 Fungos micorrízicos arbusculares

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) pertencente ao antigo filo *Zycomycota*, atualmente está dentro do filo *Glomeromycota*, são organismos biotróficos obrigatórios com característica de produzir estruturas que se ramificam dentro das raízes na finalidade de aquisição de água e nutrientes (ex. absorção de fósforo) através da simbiose mutualista (Miranda 2008). Tem importância na agricultura sustentável no uso eficiente de recursos não renováveis e na recuperação de áreas degradadas, no entanto, ainda falta explorar a significância dessa simbiose na diversidade nos ecossistemas sendo necessário compreender a ecologia a fim de acessar essa diversidade existente dos FMAs (Moreira et al. 2008). Esses fungos precisam estabelecer simbiose com as raízes das plantas a fim de completar seu ciclo de vida. Possuem micélio asseptado (cenocítico), seus esporos formados pelos glomeromicetos (Goto e Maia 2006) apresentam tamanho variando entre 22 a 1050 μm em diâmetro considerado os maiores em comparação com outros grupos de fungos conhecidos. Os glomeromicetos se reproduzem assexuadamente sendo considerados organismos assexuais ancestrais (Judson e Normark 1996), porém existe relato de formação de estruturas sexuais em *Gigaspora decipiens* (Tommerup e Sivasithamparam 1990).

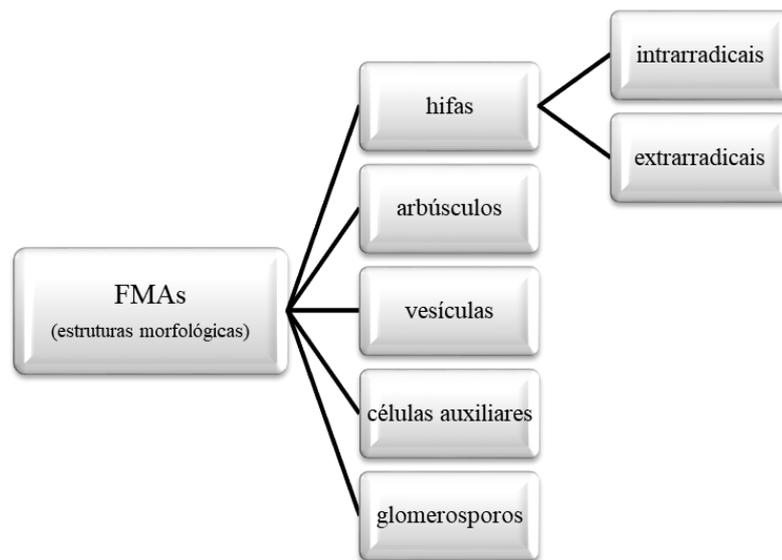


Figura 5.11 Estruturas morfológicas dos fungos micorrízicos arbusculares (Fonte: Moreira 2008).

As principais estruturas morfológicas para que haja crescimento, estabelecimento e reprodução dos fungos micorrízicos nas raízes das plantas, são: hifas, arbúsculos, vesículas, células auxiliares e glomerosporos (Tabela 5.4). As hifas podem ser intra- ou extrarradicais, a primeira é originada através de arbúsculo formando uma unidade de infecção com função de troca de nutrientes e a partir dessa infecção origina os arbúsculos e vesículas. A segunda ocorre pela formação e crescimento de um micélio externo formando uma rede micelial no solo que abrange uma zona maior da atuação do sistema radicular, em suma as hifas têm por função o fornecimento de meios para estabelecer “unidades de infecção” nas raízes da planta hospedeira (Berbara et al. 2006).

Os arbúsculos são estruturas diferenciadas com ocorrência pontual nas raízes com função de nutrição sendo responsável pela troca de nutrientes entre os simbiontes, formados entre a membrana do protoplasma e a membrana da célula (Schüßler et al. 2001). As vesículas são formadas nas porções terminais das hifas corticais com função de

armazenamento. As células auxiliares têm função de fornecer macromoléculas de carbono, possuem células espinhos na superfície e se ramificam a partir de hifas extrarradicais. Por fim a última estrutura é a responsável pela sobrevivência da espécie através da dispersão, podendo ser formado nas raízes e no solo, com tempo de esporulação variando conforme o crescimento e espécie (Goto e Maia 2006). A classificação taxonômica do filo *Glomeromycota* em nível de ordem é dividida em quatro: *Archaeosporales*, *Diversisporales*, *Glomerales*, *Paraglomerales*. Tendo destaque a ordem *Glomerales* onde os fungos atuam no solo em ambientes agrícolas em simbiose com as plantas com papel importante na absorção de água e nutrientes. Essa ordem apresentam duas famílias, a *Glomeraceae* com quatro gêneros e a *Claroideoglomeraceae* com um único gênero. A tabela 5.9.1 demonstra a classificação taxonômica da ordem *Glomerales* em família e gênero, com a sua caracterização morfológica intrarradicular das estruturas de colonização descritas por Schüßler e Walker (2010).

Tabela 5.4 Classificação taxonômica da ordem *Glomerales* e a caracterização morfológica das estruturas de colonização intrarradicular.

Família	Gênero	Vesículas	Hifas Intrarradicais	Células auxiliares
<i>Glomeraceae</i>	<i>Glomus</i>	Globosas	Retas, conexão em forma de “H”	Ausentes
	<i>Funneliformis</i>	Globosas	Retas, conexão em forma de “H”	Ausente
	<i>Rhizophagus</i>	Globosa	Retas com conexão em H	Ausente
	<i>Sclerocystis</i>	Globosa	*	*
<i>Claroideoglomeraceae</i>	<i>Claroideoglomus</i>	*	*	Ausente

* ainda não foi observado um padrão definitivo para esse gênero. Fonte: Souza (2016)

5.7.1 Métodos de avaliação dos fungos micorrízicos do solo

A coleta do solo é o primeiro passo e o mais importante, porém essa coleta deve ser de forma correta e planejada para que haja sucesso nos objetivos que se deseja. Um dos pontos fundamentais é a caracterização do ambiente de estudo, determinando o tipo de solo e o levantamento da vegetação (ex. pH, umidade, textura, desenvolvimento radicular entre outros) em vista que esses atributos alteram a população microbiana. Outros pontos a ser levantados é a quantidade de amostra para o procedimento estatístico e a delimitação do solo rizosférico na coleta. Não existe uma regra geral para amostragem, porém o detalhamento criterioso servirá no esclarecimento em dúvidas na interpretação dos dados (Bagyaraj e Sturmer 2010).

O material pode ser coletado com enxadão, anéis cilíndricos ou tratos no horizonte que tiver maior crescimento radicular. A quantidade de solo que será coletado dependerá da disponibilidade e facilidade de retirar e locomover ao ambiente de estudo (laboratório). Esse material deve ser acondicionado em recipientes (ex. sacos plásticos resistentes e impermeáveis) identificado e etiquetados. As raízes devem ser separadas, lavadas e

armazenadas, e no transporte evitar que fique em exposição ao sol a fim de evitar o aquecimento (Souza 2016). É importante fazer um levantamento florístico das espécies vegetais e caracterizar a fase fenológica, como também a caracterização das propriedades físicas e químicas do solo, pois esses fatores podem influenciar na esporulação e micorrização. Na figura 5.12 descreve os métodos juntamente com suas funções para determinação dos fungos micorrízicos arbusculares.

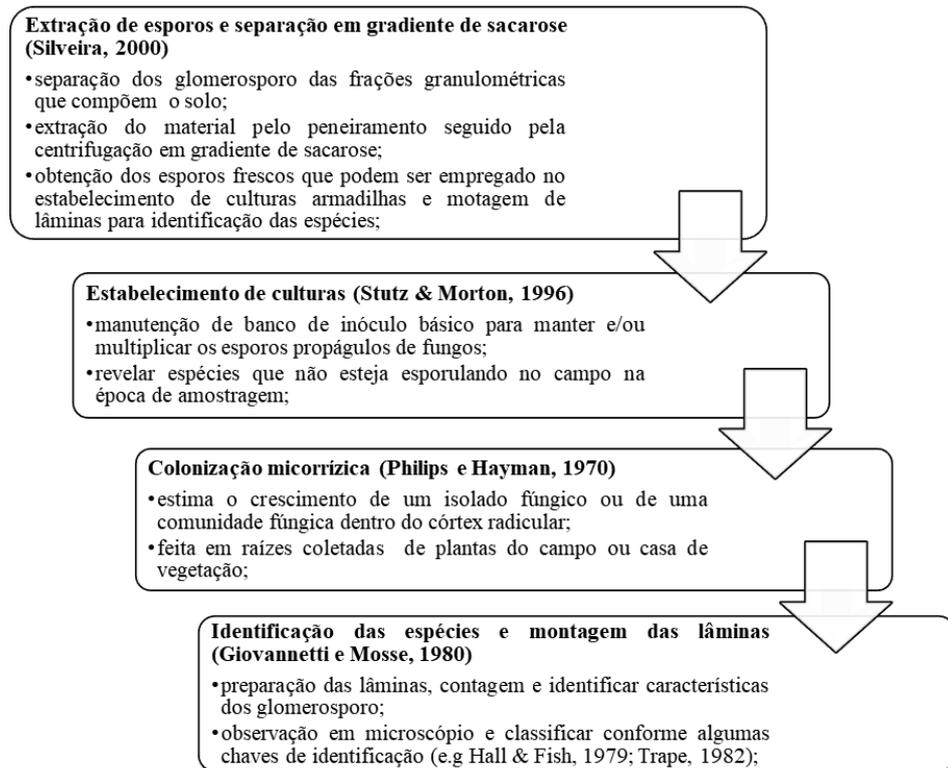


Figura 5.12 Sequência de métodos e suas respectivas funções empregadas para estudo dos fungos micorrízicos do solo.

5.8 Bactérias do solo

As bactérias são procariontes, amplamente distribuídas na natureza, sendo encontrada em todos os ambientes; não possuem membrana nuclear (carioteca) e estruturas membranosas intracelulares organizadas; são divididas em dois grupos: Eubactérias e Archeobactérias (Amabis e Martho 2004).

Eubactérias: Apresentam várias formas (esférica, bastonete e espirilo), aparecem isoladas ou em formas de colônias; variam de 0,2 – 5,0 μm ; são unicelulares e algumas apresentam flagelos.

Archeobactérias: São semelhantes às eubactérias, mas apresentam diferenças importantes quanto a sua composição química, habitam ambientes extremos como os de altas concentrações salinas, os de acidez e os de temperatura.

A célula bacteriana é, normalmente envolvida por uma parede espessa (parede celular). O domínio Bactéria, também denominado por alguns autores Eubactéria (bactérias verdadeiras), possui atualmente 52 Filos, os

quais compreendem os 12 Filos descritos por Woese (1987) (Tabela 5.5), além de 40 adicionados posteriormente, sendo 26 de organismos não cultiváveis e 14 de organismos cultiváveis (Moreira e Siqueira 2006). Com relação aos organismos não cultiváveis, as únicas informações que se tem destes organismos são suas características genéticas a partir de DNA extraído do ambiente, que podem ser obtidas em bancos de dados de Biologia Molecular, como o NCBI. De acordo com a composição química e a integridade da parede celular, as bactérias se dividem em: Gram-positivas e Gram-negativas. As Gram-positivas possuem uma espessa camada de peptidoglicano e ácidos teicoicos e as Gram-negativas possuem peptidoglicano e uma membrana externa composta de lipopolissacarídeos, lipoproteínas e fosfolipídios (Tortora et al. 2013).

Tabela 5.5 Filos de Bactérias com exemplos de gêneros, espécies e/ou grupos representativos (Woese 1987).

FILOS	GÊNERO
Chlamydia	<i>Chlamydia psittaci</i> e <i>C. trachomatis</i> .
Planctomyces e bactérias relacionadas	<i>Planctomyces</i> e <i>Pirellula</i> .
Firmicutes	- Gran-positivas com alta % C+G no DNA (Actinobacteria -actinomicetos): <i>Actinomyces</i> , <i>Streptomyces</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Frankia</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Bifidobacterium</i> e <i>Corynebacterium</i> . - Gran-negativas com baixa % C+G no DNA: <i>Clostridium</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Streptococcus</i> , <i>Staphylococcus</i> e <i>Mycoplasma</i> .
Actinobacteria	<i>Actinomyces</i> , <i>Streptomyces</i> , <i>Arthrobacter</i> , <i>Frankia</i> , <i>Micrococcus</i> , <i>Bifidobacterium</i> e <i>Corynebacterium</i> .
Cyanobactéria	<i>Anabaena</i> , <i>Aphanocapsa</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Nostoc</i> , <i>Synechococcus</i> , <i>Gleobacter</i> e <i>Prochion</i> .
Bacteroides e grupo de Cytophaga	<i>Cytophaga</i> e <i>Flavobacterium</i> .
Chlorobiaceae	(Bactérias verdes metabolizantes do S): <i>Chlorobium</i> e <i>Chloroherpeton</i> .
Proteobacteria	(Bactérias púrpuras): - Classe a: <i>Blastobacter</i> , <i>Azospirillum</i> , <i>Beijerinckia</i> , <i>Acetobacter</i> , <i>Agrobacterium</i> ; <i>Nitrobacter</i> , <i>Rhizobium</i> , <i>Azorhizobium</i> , <i>Sinorhizobium</i> , <i>Mesorhizobium</i> , <i>Rhomicrobium</i> , <i>Rhodospirillum</i> , <i>Methylobacterium</i> e <i>Methylocapsa</i> . - Classe b: <i>Derrxia</i> , <i>Burkholderia</i> , <i>Ralstonia</i> , <i>Acidiphylum</i> , <i>Alcaligenes</i> , <i>Spirillum</i> <i>Nitrosomonas</i> , <i>Nitrososivrio</i> , <i>Rhodofera</i> ; <i>Metilotrofica</i> e <i>Methylobacillus</i> . - Classe c: <i>Escherichia</i> , <i>Enterobacter</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Vibrio</i> , <i>Pseudomonas</i> , <i>Azotobacter</i> , <i>Erwinia</i> , <i>Shigella</i> , <i>Xenorhabdus</i> , <i>Proteus</i> , <i>Xanthomonas</i> , <i>Methylobacter</i> e <i>Methylococcus</i> . - Classe d: <i>Bdellovibrio</i> ; <i>Myxobacteria</i> (vários gêneros) e <i>Desulfobivria</i> . - Classe e: <i>Campylobacter</i> , <i>helicobacter</i> , <i>Sulfurospirillum</i> e <i>Arcobacter</i> .
Espiroquetas	<i>Spirochaeta</i> , <i>Treponema</i> , <i>Borrelia</i> e <i>Leptospira</i> .
Chloroflexaceae e bactérias relacionadas	<i>Chloroflexus</i> , <i>Herpetosiphon</i> e <i>Thermomicrobium</i> .
Deinococcaceae e Thermus	(radioresistentes e termófilos): <i>Deinococcus radiodurans</i> e <i>Thermus</i> .
Thermotogales	<i>Fervidobacterium</i> , <i>Thermosiphon</i> e <i>thermotoga</i> .

Adaptado de Moreira e Siqueira (2006) e Woese (1987).

Morfológicamente, as bactérias exibem variedade de formas e arranjos, de cocos unicelulares à bacilos e mesmo coloniais, filamentosas ou filamentosas ramificadas multicelulares (Whitton e Potts 2000), com tamanhos variando de 1 a 100 µm de diâmetro (Brock 1973). Elas são cosmopolitas, sendo encontradas inclusive em ambientes extremos, tais como lagos da Antártica, fontes termais, desertos áridos e solos ácidos tropicais (Skulberg 1995; Dor e Danin 1996). Embora existam milhares de espécies bacterianas, elas podem ser agrupadas em três tipos morfológicos gerais: cocos, bacilos e espiralados (Tabela 5.6).

Tabela 5.6 Morfologia das bactérias: formas e arranjos bacterianos.

FORMAS	CARACTERÍSTICAS
Cocos (esféricas)	É o grupo de bactérias mais homogêneo em relação ao tamanho. Os cocos tomam denominações diferentes de acordo com o seu arranjo:
Micrococos	Cocos / <i>Methanococcus</i> sp.
Diplococos	Cocos agrupados aos pares / <i>Neisseria</i> sp.
Tétrades	Agrupamentos de quatro cocos / <i>Deinococcus</i> sp.
Sarcina	Agrupamentos de oito cocos em forma cúbica / <i>Methanosarcina</i> sp.
Streptococos	Cocos agrupados em cadeias / <i>Streptococcus</i> sp.
Estafilococos	Cocos agrupados em grupos irregulares, lembrando cachos de uva / <i>Staphylococcus</i> sp.
Bastonete	São células cilíndricas em forma de bastonete; apresentam grande variação na forma e no tamanho entre gêneros e espécies / <i>Halobacterium</i> e <i>Salmonella</i>
Espiraladas	Caracterizadas por células em espiral:
Espirilos	Possuem corpo rígido e movem-se à custa de flagelos externos / <i>Aquaspirillum</i>
Espiroquetas	São flexíveis e locomovem-se geralmente por contrações do citoplasma, podendo dar várias voltas completas em torno do próprio eixo / <i>Treponema</i> .
De transição	Além desses três tipos morfológicos, existem algumas formas de transição
Cocobacilo	Bacilos muito curto / <i>Haemophilus influenzae</i> , <i>Gardnerella vaginalis</i> , e <i>Chlamydia trachomatis</i>
Vibrião	Unidades celulares que se assemelham a uma vírgula / <i>Vibrio cholerae</i> e <i>Vibrio vulnificus</i>

Adaptado de Whitton e Potts (2000); Moreira e Siqueira (2006).

As bactérias do solo, são na maioria heterotróficas, embora em algumas condições, haja predominância de bactérias autotróficas (Figura 5.13). Estima-se que existam no solo cerca de 800 espécies de bactérias, sendo a maioria pertencentes a ordem Eubacteriales, que vivem nos horizontes superficiais do solo. Quanto à alimentação, as bactérias são classificadas em autotróficas, que são aquelas que possuem a capacidade de produzir o próprio alimento, e heterotróficas, caracterizadas por se alimentarem de substâncias produzidas por outros seres vivos, que por sua vez podem ser saprofágicas (atuam na decomposição) ou parasitas (normalmente causam doenças) (Pelczar et al. 1996). No esquema abaixo as bactérias estão classificadas em dois grupos e algumas características dos mesmos.

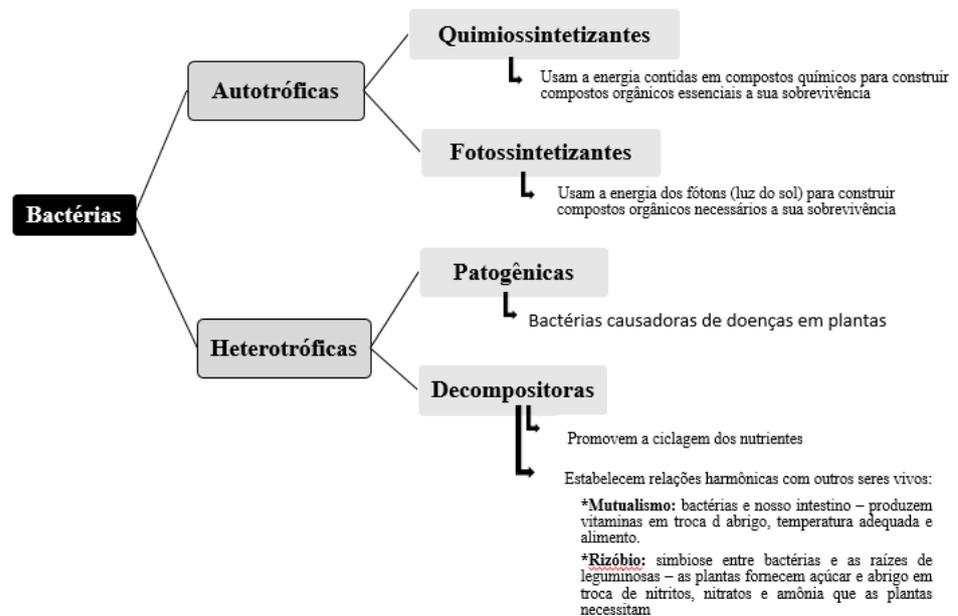


Figura 5.13 Esquema da classificação das bactérias quanto à alimentação (auto e heterotróficas). Adaptado de Pelczar et al. (1996).

De acordo com Araújo e Hungria (1994), dentre os microrganismos dos solos, as bactérias apresentam maior densidade populacional, sendo maior que a densidade de todos os outros microrganismos juntos com uma comunidade bacteriana estimada em cerca de 10^8 a 10^9 por grama de solo.

5.8.1 Presença e importância de bactérias no solo

Na agricultura, as bactérias apresentam importantes funções que conferem proteção às plantas auxiliando na eliminação de pragas e na descontaminação do solo por pesticidas ou agrotóxicos, apresentando ainda outras importantes propriedades, como conferir maior resistência às plantas alterando suas propriedades fisiológicas e produzindo hormônios vegetais e outros compostos (Azevedo et al. 2000). Os gêneros de bactérias de maior ocorrência no solo são: *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter*; *Bacillus* e *Xanthomonas* (Eweis et al. 1999). Também foram detectados outros gêneros menos representativos que possuem grande importância agrícola e ecológica são: *Ferrobacillus*, *Thiobacillus*, *Hydrogenomonas*, *Dessulfovibrio*, *Methanobacillus*; *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, que atuam no processo de nitrificação; *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*, que participam da fixação biológica do nitrogênio através de mutualismo com leguminosas; *Parosponia*; *Azospirillum* que fixam nitrogênio com gramíneas; e *Beijerinckia*, *Azotomonas*, *Derrxia* e outros gêneros que são fixadores de vida livre no solo (Brandão 1992).

A presença das bactérias no solo é importante em processos como: Decomposição da matéria orgânica, esse processo é efetuado tanto aeróbia, quanto anaerobiamente e ciclagem de nutrientes; Transformações bioquímicas específicas (nitrificação/desnitrificação, oxidação e redução do S e elementos metálicos); Fixação biológica do N_2 atmosférico; no ciclo do nitrogênio, em que atuam em diversas fases, fazendo com que o nitrogênio atmosférico possa ser utilizado pelas plantas; Ação antagonista aos patógenos; Produção de substâncias de crescimento e Solubilização de minerais; em processos industriais, como por exemplo, os lactobacilos, utilizados na

indústria de transformação do leite em coalhada; em Engenharia Genética e Biotecnologia para a síntese de várias substâncias, entre elas a insulina e o hormônio de crescimento e agentes que provocam doença no homem (Dionísio et al. 2016). Segundo Raven et al. (1996), a capacidade que certas bactérias possuem de decompor substâncias sintéticas, tais como petróleo, pesticidas e tintas, pode levar a um amplo emprego destes organismos na limpeza de derramamentos e decomposição de lixo, quando as técnicas de utilização destas bactérias estiverem mais desenvolvidas. Considerando a importância das várias funções exercidas por bactérias no meio ambiente, as bactérias do solo, em especial as espécies do gênero *Pseudomonas*, são de extrema importância para a biorremediação e agricultura, por sua grande versatilidade nutricional e pela capacidade de proliferar em uma enorme gama de ecossistemas (Palleroni et al. 1973). As espécies *P. fluorescens* e *P. putida*, por exemplo, destacam-se por não serem patogênicas, além dos efeitos benéficos produzidos em plantas auxiliando no crescimento das mesmas e por agirem efetivamente na degradação do tolueno (Ji et al. 2006). A maior limitação para a fixação biológica do nitrogênio (FBN) em sistemas não simbióticos é a disponibilidade de fontes de carbono para a bactéria e, conseqüentemente, para obtenção de energia, uma vez que o processo demanda grande quantidade de ATP.

Essa limitação tenta ser compensada pelo diazotrófico com a sua localização mais próxima da planta, ou seja, ao redor ou dentro das raízes, como endófitos (Tilak et al. 2005). Assim, as bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas podem ser agrupadas em três categorias: organismos rizosféricos, endofíticos facultativos e endofíticos obrigatórios (Baldani et al. 1997). Na primeira categoria estão todas as espécies que colonizam as raízes superficialmente. Os microrganismos endofíticos facultativos são aqueles capazes de colonizar raízes interna e externamente e o terceiro grupo, tido como de maior importância, os que colonizam o interior de raízes e também a parte aérea das plantas não leguminosas. Existem relatos de respostas positivas à inoculação de vários gêneros e espécies de bactérias endofíticas (Dalla Santa et al. 2004; Roesch et al. 2005), ausência de resposta da planta à inoculação (Ogüt et al., 2005) e mesmo de efeitos negativos (Canuto et al. 2003), dependendo da espécie vegetal, do genótipo, das condições nutricionais, assim como de fatores abióticos do meio ambiente. A bactéria endofítica *Herbaspirillum rubrisubalbicans*, antiga *Pseudomonas rubrisubalbicans*, foi descrita como agente causal da estria mosqueada da cana-de-açúcar, e, mais tarde, encontrada em variedades de sorgo causando a doença da estria vermelha. Entretanto, não houve sintomas da doença em variedades brasileiras de sorgo e nos campos de cana-de-açúcar, sendo que todos os cultivares testados se mostraram resistentes a essa bactéria (Olivares et al. 1997). Portanto, existe uma linha muito tênue dividindo bactérias associativas benéficas, neutras e patogênicas. Nas associações simbióticas, como nas plantas leguminosas e rizóbios, onde há uma estrutura definida, o nódulo, já foi demonstrado que os produtos derivados FBN são transferidos para a planta hospedeira, e por sua vez, as necessidades de fontes de carbono da bactéria são supridas pelos compostos fotossintetizados disponibilizados pela planta (Sala et al. 2007).

5.8.2 Metodologia para determinação de bactérias do solo

- Contagem de Bactérias pelo Método de Semeadura em Superfície (Clarck 1965).

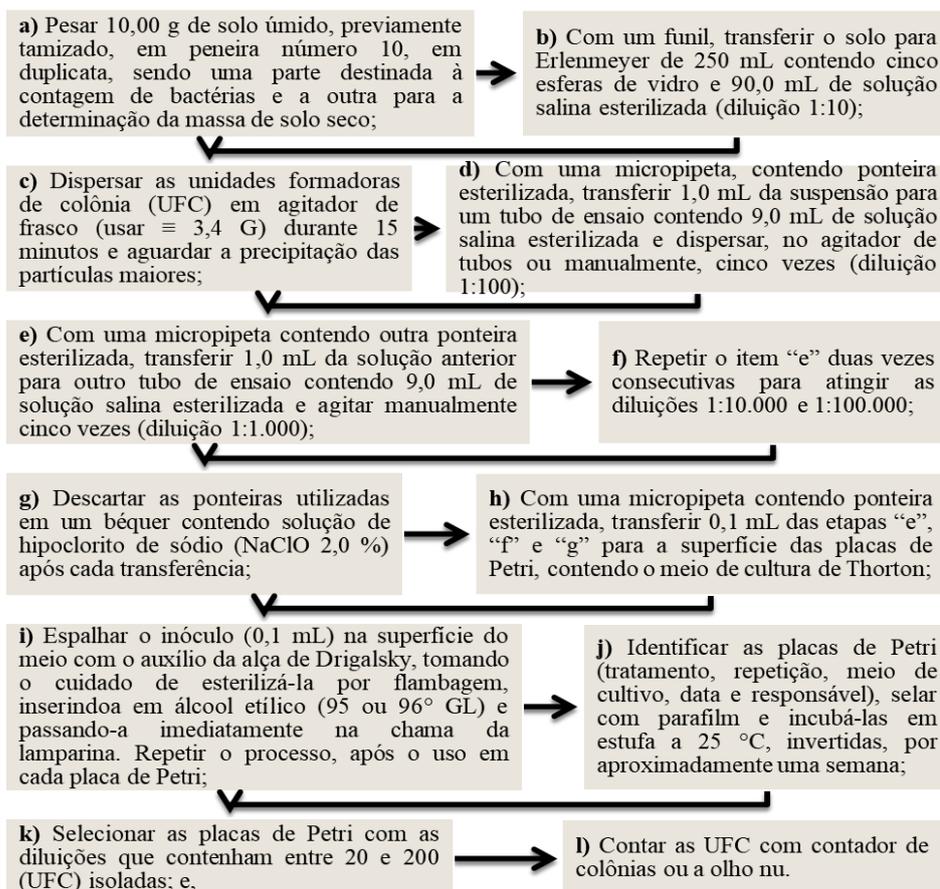


Figura 5.14 Esquema da metodologia de Contagem de Bactérias pelo Método de Semeadura em Superfície. Adaptado de Clark (1965) e Dionísio et al., (2016).

Tabela 5.7 Meio de cultura de Thorton.

Reagente	Quantidade (g L-1)
K₂HPO₄	1,0
MgSO₄.7H₂O	0,2
CaCl₂.2H₂O	0,1
NaCl	0,1
FeCl₃	0,002
KNO₃	0,5
Asparagina	0,5
Manitol	1,0
Ágar	15,0
Água destilada q.s.p.	1.000,0 mL

Fonte: Parkinson et al. (1971).

Obs. Adicionar ciclohexamida (40 mg L⁻¹ de meio) esterilizado por filtração, dissolvido em 10 mL de água destilada, antes de verter em placas com o meio de cultura à temperatura de 45 a 50 °C.

Cálculo: UFC g⁻¹ = (média das contagens x diluição selecionada x 10) g⁻¹*

*Obtido após a secagem do solo úmido em estufa (105 °C) até massa constante.

5.9 Bactérias fixadoras de N

Na natureza, somente um pequeno número de microrganismos, denominados diazotróficos ou fixadores de nitrogênio, é capaz de reduzir nitrogênio atmosférico à amônia. Esse processo, chamado de fixação biológica do nitrogênio (FBN), é realizado pela enzima nitrogenase, um complexo protéico que catalisa a reação (Eady e Postgate 1974). A aquisição de N utilizando-se do mecanismo de FBN é bastante utilizada pelos diferentes ecossistemas do planeta. Em 1893 foi realizada a primeira descrição de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, também conhecidas como diazotróficas, e até hoje os rizóbios são os mais estudados (Fernandes 2006). Embora uma série de sistemas de fixação de nitrogênio já tenham sido descritos, a FBN é restrita aos organismos procariotos. Dentre estes organismos que fixam nitrogênio (ou diazotrofos) muitos são heterótrofos, necessitando de um suplemento de carbono reduzido, o que depende indiretamente da energia da luz e em geral requer uma simbiose com um hospedeiro eucarioto; ou são de vida livre, competindo com outros microrganismos pela matéria orgânica disponível no ambiente. Outros são autótrofos, os quais podem reduzir o CO₂ em presença da luz. A ocorrência de bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico na rizosfera de plantas tem sido objeto de inúmeros estudos: Allson (1947), Krasilnikov (1958), Rubenchilc (1963), pois na rizosfera há maior possibilidade de fornecimento de material energético necessário para a fixação do nitrogênio molecular. Graças ao seu potencial biotecnológico as bactérias diazotróficas quando interagindo com o vegetal, proporcionam ganhos diretos e indiretos, como o aumento da produtividade, a redução dos custos de produção e a melhor conservação dos recursos naturais (Baldani et al. 2002; Elbeltagy et al. 2001). Segundo Evans e Burris (1992), podemos caracterizar três grupos de bactérias fixadoras de nitrogênio, ou diazotrofos (tabela 5.8): **diazotrofos de vida livre**, que fixam o nitrogênio para seu próprio uso; **diazotrofos associativos**, que contribuem para o crescimento da planta sem a formação de estruturas diferenciadas, não estabelecendo uma simbiose e os **diazotrofos simbióticos**, que estabelecem uma interação muito estreita entre o macro e microsimbionte, e em alguns casos, são formadas estruturas diferenciadas denominadas nódulos.

Tabela 5.8 Caracterização dos 3 grupos de bactérias fixadoras de nitrogênio, de acordo com Evans e Burris (1992).

Gênero	Características e exemplos de espécies
<i>Beijerinckia</i>	São aeróbicos, quimioheterotróficos, podendo crescer em solos ácidos (pH 3,0 e 4,0). (<i>B. fluminensis</i> e <i>B. indica</i>)
<i>Klebsiella</i> e <i>Enterobacter</i>	São anaeróbicas facultativas que fixam nitrogênio, porém requerem compostos nitrogenados para crescer sob condições estritamente anaeróbicas.
<i>Azotobacter</i>	Aeróbicas, heterotróficas e fixadoras de nitrogênio. (<i>A. chroococcum</i> ; <i>A. vinelandii</i> e <i>A. paspali</i>) sendo esta última a mais estudada ecologicamente.
<i>Azomonas</i>	Têm sido encontradas em habitats de água corrente. Existe somente um relato na literatura sobre a ocorrência de uma espécie desse gênero em solo (<i>A. macrocytogenes</i>).

Diazotrofos associativos	<i>Azospirillum</i>	Grupo predominante nos endófitos facultativos . Considerada uma bactéria universal encontrada colonizando plantas crescidas em diferentes habitats em associação com plantas monocotiledôneas e dicotiledôneas. (<i>A. brasilense</i> ; <i>A. lipoferum</i> ; <i>A. amazonense</i> ; <i>A. halopraeferens</i> ; <i>A. irakense</i> e <i>A. largomobile</i>). Entre os endófitos obrigatórios estão: <i>Acetobacter diazotrophicus</i> ; <i>Azoarcus</i> spp.; <i>Herbaspirillum seropedicae</i> ; <i>Herbaspirillum rubrisubalbicans</i> e <i>Burkholderia</i> spp.
	<i>Herbaspirillum</i>	São microaerofilicos, toleram drásticas mudanças no pH (5,3 – 8,0) e uma concentração de oxigênio maior que as espécies de <i>Azospirillum</i> . (<i>H. seropedicae</i> e <i>H. rubrisubalbicans</i>).
	<i>Azoarcus</i>	Crescem em altas temperaturas (37-40 °C) e pH ótimo em torno de 6,5-6,8. (<i>A. indigenis</i> ; <i>A. communis</i> ; <i>A. toluitycus</i> ; <i>A. evansii</i> e alguns poucos isolados que, por não mostrarem alta homologia com estas espécies, são chamados <i>Azoarcus</i> sp.).
	<i>Burkholderia</i>	Gillis et al. (1995) transferiram <i>Pseudomonas andropogonis</i> e <i>Pseudomonas cocovenenans</i> para o gênero <i>Burkholderia</i> , incluindo uma nova espécie <i>B. vietnamiensis</i> (Tran Van et al., 1994) para estirpes fixadoras de N ₂ isoladas da rizosfera de arroz. Têm sido encontradas em diferentes tipos de solos e raízes. Atualmente, é considerada de grande importância devido ao seu uso no controle biológico, por apresentar antagonismo a alguns fungos e patógenos de plantas existentes no solo.
	<i>Azorhizobium</i>	Compreende apenas uma espécie <i>A. caulinodans</i> , capaz de nodular a raiz e caule de <i>Sesbania rostrata</i> (Dreyfus e Dommergues, 1981). Ao contrário de <i>Rhizobium</i> e <i>Bradyrhizobium</i> , este gênero não assimila açúcares (exceto glicose). Pode fixar nitrogênio no estado de vida livre.
	<i>Bradyrhizobium</i>	Semelhantes ao gênero <i>Rhizobium</i> diferindo nos seguintes aspectos: a reação que ocorre em meio contendo sais minerais e manitol é alcalina e, algumas estirpes podem crescer quimiolitotroficamente na presença de H ₂ , CO ₂ e baixos níveis de O ₂ . (<i>B. japonicum</i> ; <i>B. elkanii</i> e <i>B. lianinense</i>).
	<i>Rhizobium</i>	Aeróbicas, gramnegativas, usualmente produzem poli-b hidroxibutirato, são móveis, temperatura ótima de crescimento entre 25-30 °C e pH 6-7. Algumas estirpes, porém, podem crescer em extremos de temperatura (4-42,5°C) e pH (4,5-9,5). São quimiorganotróficas, utilizando uma série de carboidratos e sais de ácidos orgânicos como fontes de carbono, sem a formação de gás. (<i>R. leguminosarum</i> ; <i>R. galegae</i> ; <i>R. tropici</i> ; <i>R. etli</i> , <i>R. gallicum</i> e <i>R. giardinii</i> e <i>R. hainanense</i>).
Diazotrofos simbioses	<i>Sinorhizobium</i>	Grânulos de poli-b-hidroxibutirato, são gram-negativas, aeróbicas e móveis. As bactérias são quimiorganotróficas, utilizando uma série de carboidratos (mas não celulose e amido) e sais de ácidos orgânicos como fonte de carbono. (<i>S. meliloti</i> ; <i>S. fredii</i> ; <i>S. saheli</i> ; <i>S. teranga</i> e <i>S. medicae</i>).
	<i>Mesorhizobium</i>	Células gram-negativas, aeróbicas, móveis (apresentam flagelo) podendo conter poli-b-hidroxibutirato. Todas as espécies assimilam glicose, raminose e sacarose metabolizando-os em produtos ácidos. (<i>M. loti</i> ; <i>M. huakuii</i> ; <i>M. ciceri</i> e <i>M. mediterraneum</i> ; <i>M. tianshanense</i> ; <i>M. amorphi</i> e <i>M. plurifarum</i>).
	<i>Allorhizobium</i>	Representado pela espécie <i>A. undicola</i> , bactéria fixadora de nitrogênio capaz de formar nódulos no caule de <i>Neptunia natans</i> , uma leguminosa tropical de ocorrência no Senegal (DeLAJUDIE et al., 1998). As células são gram-negativas, aeróbicas e móveis, quimiorganotróficas e utilizam uma série de ácidos orgânicos e aminoácidos como fonte de carbono para crescimento.

Adaptado de Evans e Burris (1992); Becking (1991); Baldani et al. (1997); Dreyfus et al. (1988).

Segundo Baldani et al. (1997) a atual função das bactérias de vida livre na associação com as gramíneas é uma questão que ainda requer esclarecimento. Entretanto, somente em um caso, há uma forte evidência de que um diazotrofo de vida livre, *Azotobacter paspali*, contribua para a acumulação de nitrogênio na planta. Os diazotrofos associativos podemos divididos em dois grupos de acordo com a proposição de Baldani et al. (1997): endofíticos facultativos (podem colonizar tanto a rizosfera como o interior das raízes) e os endofíticos obrigatórios (colonizam o interior das raízes).

A distribuição ecológica de *Azospirillum spp.* é extremamente ampla podendo ser considerada uma bactéria universal encontrada colonizando plantas crescidas em diferentes habitats (Döbereiner et al. 1976; Döbereiner e Pedrosa 1987). Estirpes têm sido encontradas em associação com plantas monocotiledôneas, incluindo milho, arroz, cana-de-açúcar, sorgo, gramíneas forrageiras como *Digitaria* e “Kallar grass” (Döbereiner et al. 1976; Haahtela et al. 1981; Reinhold et al. 1986; Rennie 1980; Wong e Stemberg 1979) e com as dicotiledôneas (Rao e Vankateswarty 1982).

Atualmente, os rizóbios encontram-se em quatro famílias (*Bradyrhizobiaceae*, *Hyphomicrobiaceae*, *Phyllobacteriaceae*, *Rhizobiaceae*), seis gêneros (*Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Mesorhizobium* e *Sinorhizobium*), mais de 30 espécies e vários biovars, todos na ordem *Rhizobiales* (Garrity e Holt 2001). Em relação ao rizóbio, durante a sua associação com leguminosas, são observadas estruturas chamadas nódulos. Esses microrganismos são tipicamente hábeis para invadir as raízes de plantas leguminosas de zonas temperadas e tropicais, fazendo com que ocorra a formação do nódulo. Nos nódulos, o rizóbio, na forma pleiomórfica (bacteróide) está normalmente envolvido na fixação do nitrogênio atmosférico dentro de uma forma combinada (amônia), que pode ser utilizado pela planta hospedeira. Atualmente, são conhecidos cinco gêneros de diazotrofos da família *Rhizobiaceae*: *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Mesorhizobium* e *Allorhizobium* (Dreyfus et al. 1988; DeLajudie et al. 1994; Martinez-Romero e Caballero-Mellado 1996; Jarvis et al. 1997).

Segundo Franco e Döbereiner (1994), as leguminosas se prestam aos mais diversos usos, sendo que a maioria das espécies de importância econômica são capazes de nodular e fixar N_2 atmosférico em condições mínimas de nitrogênio. Entre as espécies empregadas na adubação verde, as da família das leguminosas se destacam por forma rem associações simbióticas com bactérias fixadoras de N_2 , resultando aporte de quantidades expressivas deste nutriente ao sistema solo-planta (Perin et al. 2003), contribuindo com a nutrição das culturas subsequentes (Andreola et al. 2000; Zotarelli 2000). Outra característica importante das leguminosas é a baixa relação C/N, quando comparada a plantas de outras famílias. Além dos fatores intrínsecos da associação simbiótica, o processo da FBN é influenciado pelas características edafoclimáticas, refletindo nas diferentes respostas em relação à sobrevivência, competitividade, faixa hospedeira, especificidade e eficiência simbiótica das estirpes usadas nos programas de inoculação de sementes (Moreira e Siqueira 2002). Vários fatores, porém, podem interferir na simbiose Rizóbio x Leguminosas, sendo classificados em químicos, biológicos e físicos, e que irão limitar o estabelecimento, desenvolvimento e funcionamento desta (Moreira e Siqueira 2006).

O pH do solo constitui um dos principais fatores limitantes à simbiose bactérias-leguminosas, quanto à multiplicação e à sobrevivência das bactérias simbiotes e à nodulação e à fixação de nitrogênio (Hungria e Vargas 2000; Raza et al. 2001). Algumas espécies de bactérias fixadoras de N podem tolerar melhor a acidez do que outras, e essa tolerância pode variar entre estirpes de uma mesma espécie (Hungria et al. 1997). As bactérias fixadoras crescem em uma faixa de pH ideal entre 6,0 e 7,0, e poucas crescem bem em pH menor que 5,0 (Graham et al. 1994; Rodrigues et al. 2006; Ali et al. 2009).

O emprego da inoculação com microrganismos fixadores de N no Brasil ainda é muito limitada, a exceção da soja, mesmo com a existência de estirpes recomendadas para mais de 90 espécies vegetais (Mapa 2011). Dessa forma, é crucial que o emprego dessa biotecnologia de custo baixo e não poluente seja expandida para outras leguminosas de importância na agricultura (Tabela 5.9).

Tabela 5.9 Relação de alguns microrganismos autorizados para produção de inoculantes no Brasil, por apresentar simbiose com algumas culturas (MAPA 2011).

Cultura	Nome comum	Microrganismo recomendado	Nº na coleção oficial (Semia)
Leguminosas de grãos			
<i>Arachis hypogaea</i>	Amendoim	<i>Bradyrhizobium sp</i>	6144
<i>Cicer arietinum</i>	Grão de Bico	<i>Rhizobium leguminosarum bv. viceae</i>	396
<i>Glycine max</i>	Soja	<i>Bradyrhizobium japonicum</i> <i>Bradyrhizobium elkanii</i>	5079, 5080, 587, 5019
<i>Lens esculenta</i>	Lentilha	<i>Rhizobium leguminosarum bv. Viceae</i>	344, 3025, 3026
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Feijão	<i>Rhizobium tropici</i>	4077, 4080, 4088
<i>Pisum sativum</i>	Ervilha	<i>Rhizobium leguminosarum bv. Viceae</i>	3007, 3012
<i>Vigna unguiculata</i>	Feijão de Corda, Caupi	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6461, 6462, 6463
Leguminosas forrageiras de clima tropical			
<i>Arachis pintoi</i>	Amendoim forrageiro	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6439, 6440
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6156, 6157
<i>Centrosema sp.</i>	Centrosema	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	690, 6146, 6424, 6425
<i>Desmodium canum</i>	Desmódio	<i>Bradyrhizobium sp.</i>	6028, 656
<i>Desmodium ovalifolium</i>	Desmódio	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6208, 6209
<i>Galactia striata</i>	Galactia	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6149, 6150
<i>Indigofera hirsuta</i>	Anileira, Indigofera	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6156, 6158
<i>Neonotonia wightii</i>	Soja Perene	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	656, 6148
<i>Stylosanthes sp.</i>	Estilozantes	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6154, 6155
Leguminosas para adubação verde			
<i>Calopogonio sp.</i>	Calopogônio	<i>Bradyrhizobium sp.</i>	6152
<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão de Porco	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6156, 6158
<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalária	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6145, 6156
<i>Crotalaria spectabilis</i>	Crotalária	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6156, 6158
<i>Cyamopolis tetragonoloba</i>	Feijão Guarda, Guar	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6145, 6319
<i>Lupinus sp.</i>	Tremoço	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	928, 938
<i>Stizolobium</i>	Feijão mucuna	<i>Bradyrhizobium sp.</i>	6158

aterrimum

Leguminosas arbóreas			
<i>Acacia angustissima</i>	Acácia	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6429, 6430
<i>Acacia mearnsii</i>	Acácia negra	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6163, 6164
<i>Enterolobium timbouva</i>	Timbaúva	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6159, 6397
<i>Gliricida sepium</i>	Gliricidia	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6168, 6435
<i>Inga marginata</i>	Ingá	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6433, 6434
<i>Leucaena Leucocephala</i> v. k72/ v. k8/ v. Peru	Leucena	<i>Bradyrhizobium sp.</i>	6153
<i>Leucaena Leucocephala</i> v. <i>Cunningham</i>	Leucena	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6069, 6070
<i>Lonchocarpus costatus</i>	Leucena	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6399, 6404
<i>Mimosa caesalpinifolia</i>	Mimosa, Sabiá, Sansão do Campo	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6382, 6410
<i>Mimosa scrabella</i>	Bracatinga	<i>Bradyrhizobium sp.</i>	6165
<i>Parapiptadenia rigida</i>	Angico	<i>Bradyrhizobium sp.</i>	6416
<i>Prosopis juliflora</i>	Algaroba	<i>Bradyrhizobium spp.</i>	6161, 6162
<i>Tipuana tipu</i>	Tipuana	<i>Bradyrhizobium sp.</i>	6192
<i>Enterolobium cy- clocarpum</i>	Orelha de elefante	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>	6159

Adaptado do MAPA, (2011).

Geralmente, essas bactérias diazotróficas não conseguem suprir totalmente a demanda de N das plantas somente pela FBN, como acontece com os rizóbios para a cultura da soja. Porém, podem influenciar fortemente a nutrição nitrogenada das culturas as quais estão associadas, aumentando a capacidade de assimilação de N, indiretamente, com o aumento do sistema radicular, ou diretamente, estimulando o sistema de transporte de N das plantas (Mantelin e Touraine 2004).

Existem relatos de respostas positivas à inoculação de vários gêneros e espécies de bactérias endofíticas (Dalla Santa et al. 2004; Roesch et al. 2005), ausência de resposta da planta à inoculação (Ogüt et al. 2005) e mesmo de efeitos negativos (Canuto et al. 2003), dependendo da espécie vegetal, do genótipo, das condições nutricionais, assim como de fatores abióticos do meio ambiente. As bactérias exercem importante função na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes, na fixação biológica de nitrogênio (simbiótica e assimiótica, na agregação do solo), e no desenvolvimento de doenças, como também são indicadoras de qualidade do solo (Dionísio et al. 2016).

5.9.1 Coleta e avaliação de bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas de leguminosas

O procedimento de coleta dos nódulos e do solo é realizada em uma determinada área ou região de onde se queira identificar as BFNNL presentes. Os frascos de coleta devem ser identificados adequadamente com a informação do local e da cultura e mantidos fechados, e abertos somente no momento da análise. Os nódulos são destacados cuidadosamente do sistema radicular, depois de retirados, são lavados em água destilada e esterilizada para diminuir o risco de contaminação na câmara de fluxo laminar. Posteriormente, passam por uma desinfestação superficial, onde são, primeiramente, imersos em álcool etílico 95%, por 30 segundos, com o objetivo de quebrar a tensão superficial, imersos posteriormente em peróxido de hidrogênio (H_2O_2), por 1 minuto, para desinfestar a superfície do nódulo, e depois lavados várias vezes em água destilada esterilizada. Os nódulos então são esmagados, com o auxílio de uma pinça devidamente esterilizada, sendo o conteúdo espalhado em forma de estrias compostas para obtenção de colônias isoladas em placas contendo o meio de cultura 79 (Fred e Waksman, 1928), com azul de bromotimol, pH 6,8. De cada nódulo é obtido um isolado. Após a purificação dos isolados, estes são armazenados em tubos rosqueáveis de plástico com meio 79 sólido à temperatura de $-4^{\circ}C$ e também em tubos do tipo “eppendorf” com meio líquido, acrescido de glicerol 20%, à temperatura de $-80^{\circ}C$.

Após o isolamento, os microrganismos são caracterizados de acordo com suas características culturais em meio de cultura 79 (Fred e Waksman 1928). São avaliadas taxa de crescimento, medida pelo tempo de aparecimento de colônias isoladas (rápido - 2 a 3 dias; intermediário - 4 a 5 dias; lento - acima de 5 dias), alteração do pH do meio de cultura (acidificação, neutralização e alcalinização), produção de goma (polissacarídeos extracelulares; pouca, moderada, abundante), absorção de indicador e características das colônias tais como: tamanho (diâmetro médio das colônias), forma (circular, irregular), borda (inteira, ondulada); elevação (lente, convexo, plana, drop-like), superfície (lisa, rugosa), consistência (seca, gomosa, aquosa), transmissão de luz (opaco, brilhante) e coloração das colônias (Moreira 1991; Jesus et al. 2005). A caracterização das estirpes de rizóbio é realizada em meio YMA (Fred e Waksman 1928) com azul de bromotimol em um pH ideal de 6,8 a 7,0. A caracterização costuma ser realizada a partir do aparecimento de colônias isoladas, durante pelo menos 1 semana. Os isolados devem também ser cultivados em meio YMA com vermelho congo. O vermelho congo é um corante com propriedades fungicidas e deve ser usado para facilitar a diferenciação entre rizóbio e contaminantes. O rizóbio crescente no meio rico é incapaz de absorver o corante, aparecendo com uma coloração rosada difusa.

São realizados cultivos sucessivos para a obtenção de colônias puras. Após a purificação dos isolados, procede-se à caracterização cultural e morfológica (Martins et al. 1997). As colônias são avaliadas quanto aos parâmetros: tempo de crescimento; diâmetro; cor; transparência; forma; borda; elevação; superfície; volume, consistência e aparência do muco. Com a incorporação do indicador de pH azul de bromotimol, a partir do quinto dia de crescimento, observa-se a coloração do meio de cultura de acordo com a natureza ácida, alcalina ou neutra dos metabólitos produzidos.

As características culturais e morfológicas dos isolados são convertidas em uma matriz binária de presença e ausência. Deste modo, agruparam-se os isolados em um Dendrograma de Similaridade, gerado por meio do aplicativo computacional PAST (Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis), utilizando o Coeficiente de Similaridade de Jaccard (Hammer et al. 2001). São incubados em frascos contendo o meio líquido (Extrato de Levedura e Manitol) (Meio 79) de Fred e Waksman (1928) modificado para Meio YMA (Vincent 1970) (tabela 5.10), por 72 horas a $28^{\circ}C$ e 120 rpm.

Tabela 5.10 Composição do Meio 79 Fred e Waksman (1928) (similar ao meio YMA – Vincent, 1970), para crescimento de BFNNL.

Reagente	Quantidade (g L ⁻¹)
K₂HPO₄	0,1
KH₂PO₄	0,4
MgSO₄.7H₂O	0,2
NaCl	0,1
Extrato de levedura	0,4
Azul Bromothymol (N KOH)	0,2
pH	6,8-7,0
Manitol	10
Meio sólido Ágar	15,0
Meio semi-sólido Ágar	1,75
Água destilada q.s.p.	1.000,0 mL

Adaptado de Vincent (1970); Fred e Waksman (1928).

As etapas para o sequenciamento do gene 16S rDNA iniciaram com a extração do DNA dos isolados a partir da utilização do kit ZR Fungal/Bacterial DNA MiniPrep™ conforme as instruções e protocolo fornecidos pelo fabricante (Zymo Research Corporation). Em seguida, procede-se à amplificação da região codificadora por técnica de PCR (Polymerase Chain Reaction), empregando-se os conjuntos: 27F (5'AGAGTTTGATCCTGGCTCAG3') e 1492R (5'GGTTACCTTGTTAC GACTT3') (Lane 1991). As condições de amplificação consistem em: pré-desnaturação a 94°C por 5 minutos; 30 ciclos de desnaturação a 94°C por 40 segundos; anelamento a 55°C por 40 segundos; extensão a 72°C por 90 segundos; e extensão final a 72°C por 7 minutos. Após, as amostras são mantidas sob refrigeração a 4°C. É utilizada alíquota de 1 µL do DNA extraído, totalizando o volume final de 25 µL por reação. A concentração final dos reagentes é de 2,5 µL de tampão de PCR, 10x, 0,5 µL de Taq DNA polimerase, 25 picomoles. As reações são realizadas em um termociclador (Analítica TC-312) e os produtos de amplificação são submetidos à eletroforese em gel de agarose a 1% em cuba horizontal com tampão TBE 1x. As amostras são coradas com Blue Green (LGC Biotecnologia) em um transiluminador de luz ultravioleta e documentadas com equipamento de fotografia digital. Para a realização do sequenciamento completo do gene ribossomal 16S, o produto da reação de PCR foi purificado com as instruções e protocolo do kit GenElute™ PCR Clean-Up (Sigma-Aldrich). Posteriormente à reação, as amostras são encaminhadas para o sequenciamento.

As etapas de coleta até a caracterização das bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas de leguminosas são descritas de forma simplificada na figura 5.15.

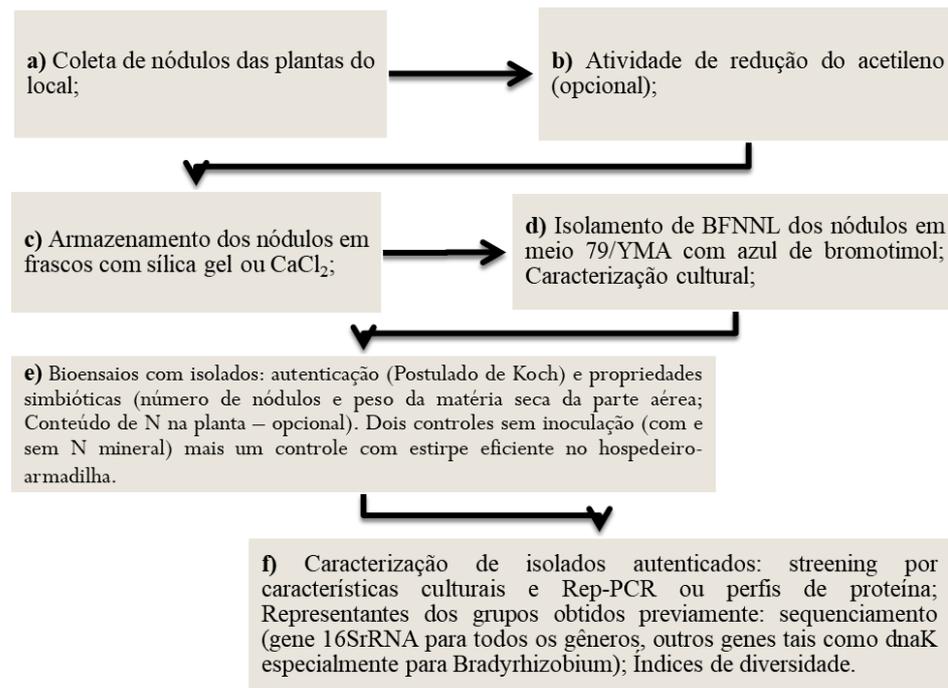


Figura 5.15 Etapas de avaliação de bactérias fixadoras de nitrogênio nodulíferas de leguminosas. Adaptado de Moreira (2004); Bala et al. (2001); Moreira e Pereira (2001); Jesus et al. (2005).

5.10 Referências

- Albuquerque MP, Machado AMB, Machado AF, Victoria, FC, Morselli, TBGA (2009) Fauna edáfica em sistema de plantio homogêneo, sistema agroflorestal e em mata nativa em dois municípios do Rio Grande do Sul, Brasil. *Biociências*, 17:59-66
- Alexopoulos CJ, Mims CW, Blackwell M (1996) *Introductory Mycology*. 4th ed, John Wiley and Sons, INC, New York
- Ali SF, Rawat LS, Meghvansi MK, Mahna SK (2009) Selection of stress-tolerant rhizobial isolates of wild legumes growing in dry regions of Rajasthan, India. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 4:13-18
- Allison FE (1947) *Azotobacter inoculation of crops*. 1. Historical. *Soil Science*. 64:413-429
- Alves FAL, Belarmino CA, Alves PRR, Oliveira R, Rosa JH, Fernandes YTD, Nunes EM, Souto JS (2014) Caracterização da macro e mesofauna edáfica sobre um fragmento remanescente de “mata atlântica” em Areia-PB. *Gaia Scientia*, 8:384-391
- Amabis JM, Martho GR (2004) *Biologia*. 2ª série. V. 2. São Paulo: Moderna, p.300
- Anderson JM (1998) Spatiotemporal effects of invertebrates on soil processes. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin, 6:216-227
- Anderson JM, Ingram JSI (1993). *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods*. 2nd ed. Wallingford: CAB International, 221p

André HM, Ducarme X, Lebrun Ph (2002) Soil biodiversity: Myth, reality or conning? *Oikos*, 96:3–24

André HM, Noti MI, Lebrun P (1994) The soil fauna: the other last biotic frontier. *Biodiversity and Conservation*, v. 3, p. 45-56

Antoniolli Z I, Conceição PC, Böck V, Port O, Silva DM, Silva RF (2006) Método alternativo para estudar a fauna do solo. *Ciência Florestal*, 16:407-417

Aquino AM, Assis RL (2005) Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica: Embrapa Agrobiologia. pp 47-75

Aquino AM (2001) Manual para macrofauna do solo. Seropédica: Embrapa Agrobiologia. 21p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 130).

Araújo VFP (2008) Arthropoda de solo em um ecossistema semiárido da região neotropical: composição, variabilidade temporal e estratificação. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do RIO Grande do Norte. Natal, RN. p.51

Araújo RS, Hungria M (1994) Microrganismos de importância agrícola. Brasília: EMBRAPA-CNPAB

Arbea JI, Basco-Zumeta J (2001) Ecologia de los Colembolos (Hexapoda, Collembola) en Los Monegros (Zaragoza, España). *Aracnet 7 -Bol. SEA*. 28:35-48

Azevedo JL, Araujo WL, Maccheroni JRW (2000) Importância dos microrganismos endofíticos no controle de insetos. Em *Controle Biológico*, eds. Melo, I.S. e Azevedo, J.L. Embrapa Meio ambiente, Vol. 3

Bagyaraj JD, Sturmer SL (2010) Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs). In: Moreira FMS, Huising EJ, Bignell DE. *Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade*, 1rd edn. UFLA, Lavras, pp.205-225

Bala A, Murphy P, Giller KE (2001) Genetic diversity of rhizobia varies from natural populations with the soil dilution sampled', *Soil Biology and Biochemistry*, 33:841–843.

Baldani JI, Caruso L, Baldani VLD, Goi RS, Döbereiner J (1997). Recent advances in BNF with non legumes plants. *Soil Biology and Biochemistry*, 29:922-928

Balota EL, Colozzi-Filho A, Andrade DS, Hungria M (1998) Biomassa microbiana e sua atividade em solos sob diferentes sistemas de preparo e sucessão de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:641-649

Baretta D, Brescovit AD, Knysak I, Cardoso EJZN (2007) Trap and soil monolith sampled edaphic spiders (arachnida: araneae) in Araucaria angustifolia forest. *Scientia Agricola*. 64:375-383

Baretta D, Ferreira CS, Sousa JP, Cardoso EJBN (2008) Colêmbolos (Hexapoda: Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com Araucaria angustifolia. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 32:2693-2699

Barnes R B (1990) *Zoologia dos invertebrados*. São Paulo: Livraria Roca, 1179 p.

Barros YJ, Melo VF, Sautter KD, Buschle B, Oliveira EB, Azevedo JCR, Souza LCP, Kummer L (2010) Indicadores de qualidade de solos de área de mineração e metalurgia de chumbo: II - mesofauna e plantas. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 34:1413-1426

Beare MH, Coleman DC, Crossley JRDA, Hendrix PF, Odum EP (1995) A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and Soil*, Hague, 170: 5-22

Bedendo IP (1995) Classificação de doenças. In: Bergamin Filho A, Kimati H, Amorim L (Eds) *Manual de fitopatologia: princípios e conceitos*, 3rd edn. Agronômica Ceres, São Paulo, pp 805-809

- Behan-pelletier VM (1999) Oribatid mite biodiversity in agroecosystems: Role for bioindication. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 74:411-423
- Bellinger PF, Christiansen KA, Janssens F (2007) Checklist of the Collembola of the world.
- Berbara RLL, Souza FA, Fonseca HMA (2006) Fungos Micorrízicos arbusculares: Muito além da nutrição. In: Fernandes MS (Ed) *Nutrição Mineral de Plantas*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Viçosa, pp.53-88
- Berg NW, Pawluk S (1984) Soil mesofaunal studies under diferente vegetative regimes in north central Alberta. *Can. Journal Soil Science*. Ottawa, 64:209-223
- Berude, MC Galote, JCB, Pinto PH, Amaral AA (2015) A mesofauna do solo e sua importância como bioindicadora. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, 11:22
- Bignell D, Constantino R, Csudi C, Karyanto A, Konaté S, Louzada JNC, Susilo FX, Tondoh JE, Zanetti R (2010) Macrofauna. In: Moreira FMS, Huising EJ, Bignell DE (edn). *Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade*. Lavras: Editora da UFLA, pp 121-137
- Cardoso EJB, Andreote FD (2016) *Microbiologia do solo*. 2ª edição. ESALQ, Piracicaba
- Carrillo Y, Ball BA, Bradford MA, Jordan CF, Molina M (2011) Soil fauna alter the effects of litter composition on nitrogen mineral soil. *Soil Biol Biochem* 43:1440-1449
- Carvalho Y (1997) Densidade e diversidade dos microorganismos do solo em plantio direto e convencional da região de Carambeí-PR. Dissertação, Universidade Federal do Paraná
- Carver M, Gross GF, Woodward TE (1991) Hemiptera. In: Walterhouse DF (ed) *The insects of Australia*. Melbourne University Press, Melbourne, pp 429-509
- Castellanos LR, Hernandez JCA (2007). Earthworm biomarkers of pesticide contamination: Current status and perspectives. *Journal of Pesticide Science* 32:360-371
- Christiansen KA (1990) Insecta: Collembola: soil biology guide. In: Dindal DL (ed) *Soil biology guide*. John Wiley, New York, pp1349
- Clark FE (1965) Actinomyces. In: Black CA (ed) *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison, pp1498-1501
- Copeland TP, Imadate G (1990) Insecta: protura: soil biology guide. In: Dindal, DL (ed) *Soil biology guide*. John Wiley, New York, pp 914-933
- Correa KG, Araújo KD, Azevedo LG, Barbosa EA, Souto JS, Santos TS (2009) Macrofauna edáfica em três diferentes ambientes na região do agreste paraibano, Brasil. *Engenharia Ambiental* 6(1):206-213
- Correia MEF (2002) *Relações entre a Diversidade da Fauna de Solo e o Processo de Decomposição e seus Reflexos sobre a Estabilidade dos Ecossistemas*. Embrapa Agrobiologia, Seropédica
- Costa P (2004) *Fauna edáfica e sua atuação em processos do solo*. Embrapa Roraima, Boa Vista
- Curry JP (1994) *Grassland invertebrates. Ecology, influence of soil fertility and effects on plants growth*. Chapman and Hall, London
- Curry JP, Byrne D, Schmidt O (2002) Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land. *European Journal of Soil Biology* 38(2):127-130

Dalla SOR, Hernández RF, Alvarez GLM, Ronzelli JP, Soccol CR (2004) Azospirillum sp. Inoculation in wheat, barley and oats seeds greenhouse experiments. Brazilian Archives of Biology and Technology 47:843-850

DeLajudie P L E, Willems A, Torck U, Coopman R, Collins MD, Kersters K, Dreyfus B, Gillis M (1998) Allorhizobium undicola gen. nov., sp. nov., nitrogen-fixing bacteria that efficiently nodulate Neptunia natans in Senegal. International Journal of Systematic Bacteriology 48:1277-1290

DeLajudie P, Willens A, Pot B, Dewettinck D, Maestrojuan G, Neyra M, Collins MD, Dreyfus B, Kersters K, GILLIS M (1994) Polyphasic taxonomy of rhizobia: Emendation of the genus Sinorhizobium and description of Sinorhizobium and description of Sinorhizobium meliloti com. nov., Sinorhizobium saheli sp. nov., and Sinorhizobium teranga sp. nov. International Journal Systematic of Bacteriology 44:715-733

Deponti CM, Eckert C, Azambuja JLB (2002) Estratégias para construção de indicadores para avaliação da sustentabilidade e monitoramento de sistemas. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável 3(4):44-52

Dinesh R, Srinivasan V, Hamza S, Manjusha A (2010) Short-term incorporation of organic manures and biofertilizers influences biochemical and microbial characteristics of soils under an annual crop [Turmeric (Curcuma longa L.)]. Bioresource Technology 101:4697-4702

Dionísio JA, Pimentel IC, Signor D, Paula AM, Maceda A, Mattana AL (2016) Guia prático de biologia do solo. SBCS/NEPAR, Curitiba

Döbereiner J, Marriel IE, Nery M (1976) Ecological distribution of Spirillum lipoferum Beijerinck. Canadian Journal of Microbiology 22:1464-1473

Döbereiner J, Pedrosa FO (1987) Nitrogen-fixing bacteria in nonleguminous crop plants. Springer-Verlag, Madison

Dor I, Damin A (1996) Cyanobacterial desert crusts in the Dead Sea Valley, Israel. Archiv fur Hydrobiologie 83:197-206

Doran JW, Sarrantonio M, Liebig MA (1996) Soil health and sustainability. Advances in Agronomy 56:02-54

Dreyfus B, Dommergues YR (1981) Nitrogen-fixing nodules induced by Rhizobium on the stem of the tropical legume, Sesbania rostrata. FEMS Microbiology Letters 10:313-317

Dreyfus B, Garcia JL, Gillis M (1988) Characterization of Azorhizobium caulinodans gen nov sp nov a stem-nodulating nitrogen-fixing bacterium isolated from Sesbani rostrata. International Journal of Systematic Bacteriology 38:89-98

Dupont ST, Ferris H, Van HM (2009) Effects of cover crop quality and quantity on nematode-based soil food webs and nutrient cycling. Applied Soil Ecology 41:157-167

Eady RR, Postgate JR (1974) Nitrogenase. Nature 249:805-810

Edwards CA, Bohlen PJ (1996) The influence of environmental factors on earthworms. In: Edwards CA, Bohlen PJ (ed) Biology and ecology of earthworms, 3rd edn. Hall, London Chapman, pp 134-154

Elbeltagy A, Nishioka K, Sato T, Suzuki H, Ye B, Hamada T, Isawa T, Mitsui H (2001) Minamisawa K. Endophytic colonization and in planta nitrogen fixation by a erbaspirillum sp. isolated from wild rice species. Applied and Environmental Microbiology 67:5285-5293

Evans HJ, Burris RH (1992) Highlights in Biological Nitrogen Fixation during the last 50 years. In: Stacey G, Burris RH, Evans HJ (ed) Biological Nitrogen Fixation. Chapman and Hall, New York, pp 1-42

Eweis JB, Ergas SJ, Chang DPV, Schroeder ED (1999) Principios de biorrecuperación. McGrawHill, Madrid

- Feiden Alberto (2005) Agroecologia: Introdução e Conceitos. In: Aquino AM, Assis RL (ed) Agroecologia Princípios e Técnicas para uma Agricultura Orgânica Sustentável. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília, pp 49-69
- Ferguson L M (1990) Insecta: Diplura: soil biology guide. In: Dindal DL (ed) Soil biology guide, John Wiley, New York, pp 1349
- Fernandes MS (2006) Nutrição mineral de plantas. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa
- Ferris H, Lau S, Venette R (1995) Population energetic of bacterial-feeding nematodes: respiration and metabolic rates based on carbon dioxide production. *Soil Biology and Biochemistry* 27:319-330
- Filser J (1992) Dynamik der Collembolengesellschaften als Indikatoren für bewirtschaftungsbedingte Bodenbelastungen. Shaker Verlag, Aachen
- Franco AA, Döbereiner J (1994) A biologia do solo e a sustentabilidade dos solos tropicais. *Summa Phytopathológica* 20:68-74
- Franklin E, Morais JW (2006) Soil Mesofauna in Central Amazon. In: Moreira FMS, Siqueira JO, Brussaard L (ed) Soil Biodiversity in Amazonian and Other Brazilian Ecosystems, CABI Publishing, Wallingford, pp142-162
- Fred EB, Waksman SA (1928) Laboratory manual of general microbiology - with special reference to the microorganisms of the soil. McGraw-Hill Book Company, New York
- Fu S, Ferris H, Brown D, Yeates GW (2005) Does the positive feedback effect of nematodes on the biomass and activity of their bacteria prey vary with nematodes species and population size? *Soil Biology and Biochemistry* 37:167-178
- Gallo D, Nakano O, Silveira NS, Carvalho RPL, Batista GC, Berti FE, Parra JRP, Zucchi RAF, Alves SB (2002) Entomologia agrícola. FEALQ, Piracicaba
- Garrity GM, Holt JG (2001) The road map to the. Manual. In: Boone DR, Catenholz RW (ed) Bergey's manual of systematic bacteriology. Springer-Verlag, New York, pp 119-166
- Gatiboni LC, Coimbra JLM, Wildner LP, Denardin RBN (2009) Modificações na fauna edáfica durante a decomposição da palhada de centeio e aveia preta, em sistema plantio direto. *Biotemas* 22:45-53
- Ley P, Blaxter ML (2002) Systematic position and phylogeny. In: Lee D L (ed). *The Biology of Nematodes*, London: Taylor and Francis, pp 1-30
- Lijteroff R, Lima L, Prieri B (2008) Uso de líquenes como bioindicadores de contaminación atmosférica em la ciudad de San Luis, Argentina. *San Luis*, 3:1:3-6
- Machado DL, Pereira MG, Correia MEF, Diniz AR, Menezes CEG (2015) Fauna edáfica na dinâmica sucessional da Mata Atlântica em floresta estacional semidecidual na bacia do Rio Paraíba do Sul – RJ. *Ciência Florestal*, 25:1:91-106
- Madigan MT, Martinko JM, Dunlap PV, Clark DP (2010) *Microbiologia de Brock*. 12. ed. Artmed. Porto Alegre, pp 1160
- Maia LC, Cavalcanti MAQ, Gibertoni T, Goto BT, Melo AMM, Baseia IG, Silvério ML (2006) Fungos. In: Pôrto KC, Almeida-Cortez JS, Tabarelli M (Org) *Diversidade Biológica e Conservação da Floresta Atlântica ao Norte do Rio São Francisco*, 1rd edn. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, pp 75-106
- Mantelin S, Touraine B (2004) Plant growth-promoting bacteria and nitrate availability: impacts on root development and nitrate uptake. *Journal of Experimental Botany*, 55:27-34

Marques JF, Skorupa LA, Ferraz JMG (2003) Indicadores de sustentabilidade em agroecossistemas. Jaguariúna: Embrapa, pp17-35

Marteletto PB, Lomônaco C, Kerr WE (2009) Respostas fisiológicas, morfológicas e comportamentais de *Zabrotes subsciatius* (Boheman) (Coleoptera: Bruchidae) associados ao consumo diferentes variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris*). *Neotropical Entomology* 38:2:178-185. (ALTERAR NAS CITAÇÕES: NA CITAÇÃO COMO 2011, SENDO QUE O ARTIGO FOI PUBLICADO EM 2009)

Martínez-Romero E, Caballero-Mellado J (1996) *Rhizobium* phylogenies and bacterial genetic diversity. *Critical Review in Plant Sciences*, Boca Raton, 15:113-140

Martins LMV, Xavier GR, Neves MCP, Rumjanek NG (1997) Características relativas ao crescimento em meio de cultura e a morfologia de colônias de rizóbio. (19). Brasília: Embrapa, pp 14

Marzal K, Almeida J (2000) Indicadores de sustentabilidade para agroecossistemas: Estado da arte, limites e potencialidades de uma nova ferramenta para avaliar o desenvolvimento sustentável. *Cadernos de Ciência e Tecnologia*, Brasília, 17:1:41-59

Masera O, Astier M, López-Ridaura S (2000) El marco de Evaluación MESMIS. Sustentabilidad y Sistemas Campesinos. México: GIRA-Mundi-Prensa, pp 13-44

Mattos JKA, Huang SP, Pimentel CMRM (2006) Grupos tróficos da comunidade de nematoides do solo em oito sistemas de uso da terra nos cerrados do Brasil central. *Nematologia Brasileira*, 30:3:267-273

Melo FV, Brown GG, Constantino R, Louzada JNC, Luizão FJ, Morais JW, Zanetti RAA (2009) Importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 1:38-42

Mikola J (1998) Effect of microbivore species composition and basal resource enrichment on trophic level biomasses in an experimental microbial based soil food web. *Oecologia*, 117:3:396-403

Mapa (2011) Normas sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem dos inoculantes destinados à agricultura, (Instrução Normativa nº 13), pp 19 (verificar nas normas, dúvidas quanto a citação)

Miranda JCC (2008) Cerrado: Micorriza arbuscular, ocorrência e manejo. Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, pp 169.

Moço MKS, Gama-Rodrigues EF, Gama-Rodrigues AC, Correia (2005) Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte fluminense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:555-564

Moldenke AR (1994) Arthropods. In: Weaver R, Angle JS, et al (ed) *Methods of Soil Analysis: Microbiological and Biochemical Properties*, Soil Science Society American. Book Series, (5) Madison: SSSA. pp 517-542

Moraes AML, Paes RA, Holanda V (2009) Micologia. In: Molinaro EM, Caputo LFG, Amendoeira MRR (ed) *Conceitos e Métodos para a Formação de Profissionais em Laboratórios de Saúde RJ*, 1:339-496

Morais JW, Oliveira FGL, Braga RF, Korasaki V (2013) Mesofauna. In: Moreira FMS, Cares JE, Zanetti R, Stürmer SL (ed) *O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal Lavras: UFLA*, pp 185-200

Moreira FMS (1991) Caracterização de estirpes de rizóbio isoladas de espécies florestais pertencentes a diversos grupos de divergência de Leguminosae introduzidas ou nativas da Amazônia e Mata Atlântica. Tese, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pp 152

- Moreira FMS, Pereira EG (2001) 'Microsymbionts: Rhizobia'. In: Swift M, Bignell D (ed) *Standard Methods for Assessment of Soil Biodiversity and Land Use Practice*, International Centre for Research in Agroforestry, Bogor, Indonesia. pp 34
- Moreira FMS, Siqueira JO (2002) *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras: UFLA, pp 626
- Moreira FMS (2004) 'Methodology for the inventory of nitrogen-fixing Leguminosae nodulating bacteria', *Conservation and Sustainable Management of Below-ground Biodiversity CSM-BGBD, Annual Meeting Report 4*, Nairobi, Kenya.
- Moreira FMS, Siqueira JO (2006) *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2nd edn. Lavras: UFLA, pp 729
- Moreira FMS, Siqueira JO (2006) Transformações bioquímicas e ciclos dos elementos no solo. In: Moreira FMS, Siqueira JO. *Microbiologia e bioquímica do solo*. 2nd edn. Lavras: UFLA, pp 213-220
- Moreira FMS, Siqueira JO, Brussaard L (2008) Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. (ed) Lavras: UFLA, pp 768
- Moreira FMS, Huising EJ, Bignell DE (2010) *Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade* Lavras: UFLA pp 368
- Moreira FMS, Cares JE, Zanetti R, Sturmer SL (2013) *O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal*. (ed) UFLA. pp 352
- Niles RK, Freckman DW (1998) From the ground up: nematode ecology in bioassessment and ecosystem health. In: Bartels JM (ed) *Plant and nematode interactions*. Madison: ASA:CSSA:SSSA, pp 65-85
- Norton RA (1990) Acarina: Oribatida: soil biology guide. In: Dindal DL (ed) *Soil biology guide*. New York: John Wiley, pp 1349
- Nunes LAPL, Araújo Filho JA, Menezes RIQ (2009) Diversidade da fauna edáfica em solos submetidos a diferentes sistemas de manejo no semiárido nordestino. *Scientia Agraria*, 10:1:43-49
- Nunes LAPL, Lima LM, Carneiro RFV, Tsai SM, Salviano AAC (2012) Land degradation on soil microbial biomass and activity in Northeast Brazil. *Pedosphere*, 22:88-95
- Ogüt M, Akdag C, Duzdemir O, Sakin AM (2005) Single and double inoculation with *Azospirillum/Trichoderma*: the effects on dry bean and wheat. *Biology and Fertility of Soils*, 41:262-272
- Olivares FL, Baldani JI, James EK, Döbereiner J (1997) Infection of mottled stripe disease and resistant sugar cane varieties by endophytic diazotroph *Herbaspirillum*. *New Phytologist*, 135:723-737
- Oliveira FS, Varajao AFDC, Varajao CAC, Schaefer CEGR, Boulange B (2014) The role of biological agents in the microstructural and mineralogical transformations in aluminium lateritic deposit in Central Brazil. *Geoderma*, 226:250-259
- Palleroni NJ, Kunisawa R, Contopoulou R, Doudoroff M (1973) Nucleic acid homologies in the genus *Pseudomonas*. *International Journal of Systematic Bacteriology*, 23:333-339
- Parker MA (2004) 'rRNA and dnaK relationships of *Bradyrhizobium* sp. nodule bacteria from four Papilionoid legume trees in Costa Rica', *Systematic and Applied Microbiology*, 27:334-342
- Parkinson D et al. (1971) *Methods for studying the ecology of soil microorganisms*. Oxford: Blackwell Scientific, pp116

Pelczar MJ, Chan ECS, Krieg NR (1996) *Microbiologia: Conceitos e aplicações*. 2 ed. São Paulo: MAKRON Books, pp 524

Pereira RC, Albanez JM, Mamédio IMP (2012) Diversidade da meso e macrofauna edáfica em diferentes sistemas de manejo de uso do solo em Cruz das Almas – BA. *Magistra*, 24: 63-76

Perin A, Guerra JGM, Teixeira MG (2003) Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:791-796

Petersen H, Luxton MA (1982) comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos*, 39:287-388

Philip JM, Hayma DS (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological Society*, 55:158-161

Rajora OM, Mosseler A (2001) Challenges and opportunities for conservation of forest genetic resources. *Euphytica*, 118:2:197-212

Rao AV, Vankateswarlu B (1982) Associative symbiosis of *Azospirillum lipoferum* with dicotyledonous succulent plants of the indian desert. *Canadian Journal of Microbiology*, Ottawa, 28:7:778-782

Raven PH, Evert RF, Eichhorn SE (1996) *Biologia Vegetal*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, pp 724

Reed EM (1970) *Thysanoptera: the insects of Australia*. New York: Cornell University Press, 1: pp 360.

Reynolds JW, Wetzel MJ (2009) *Nomenclatura Oligochaetologica – Supplementum Quartum [N.O.S.Q.]*. Champaign. <http://www.inhs.uiuc.edu/~mjwetz/Nomen.Oligo.html>. Acessado em 05 de junho de 2017

Ribeiro-Costa CS, Rocha RM (2002) *Invertebrados: manual de aulas práticas*. Holos, Ribeirão Preto

Ricklefs REA (2009) *Economia da Natureza*. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro

Riek EF (1970) *Hymenoptera: the insects of Australia*. Cornell University Press, New York

Rigby D, Caceres D (2001) Organic farming and the sustainability of agricultural systems. *Agricultural Systems* 68:21-40

Righi G (1999) Oligoquetas. In: Machado ABM (ed) *Livro vermelho das espécies ameaçadas de extinção da fauna de Minas Gerais*. Biodiversitas, Belo Horizonte, pp 573-583.

Rodrigues CS, Laranjo M, Oliveira S (2006) Effect of heat and pH stress in the growth of chickpea mesorhizobia. *Current Microbiology* 53:1-7

Roesch LF, Camargo FO, Selbach PA, SÁ ES (2005) Reinoculação de bactérias diazotróficas aumentando o crescimento de plantas de trigo. *Ciência Rural* 35:1201-1204

Roth LM (1991) Blattodea: the insects of Australia. In: Walterhouse DF (ed) *The insects of Australia*. Melbourne University Press, Canberra, pp 360

Rovedder AP, Venturini S, Spagnollo E, Antonioli A (2008) Colêmbolos como indicadores biológicos em solos areníticos na região sudoeste do Rio Grande do Sul. *European Journal of Soil Biology* 44:191-197

- Rubenchik LI (1963) Azotobacter and its use in agriculture. Israel Program for Scientific Translation. US-Dpt. Comm., Washington
- Ruppert EE, Fox RS, Barnes RD (2005) Zoologia dos Invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva. 7ª ed. Roca, São Paulo
- Ryvarden L, Johansen I (1980) A Preliminary Polypore Flora of East Africa. Fungiflora, Oslo
- Sala VMR, Silveira APD, Cardoso EJBN (2007) Bactérias Diazotróficas Associadas a Plantas não-leguminosas. In: Silveira APD, Freitas SS (ed) Microbiota do Solo e Qualidade Ambiental. Instituto Agronômico, Campinas, pp 104-115.
- Sanginga N, Mulongoy K, Swift MJ (1992) Contribution of soil organisms to the sustainability and productivity cropping systems in the tropics. Agriculture, Ecosystem and Environment 41:135-152
- Santos CM (2012) Biomonitoramento Passivo utilizando casca de Aroeira Vermelha (*Myracrodoun urundeuva*): Estudo de Caso da Região de Fercal – DF. Dissertação, Universidade de Brasília
- Schüßler A, Walter C (2010) A Glomeromycota: uma lista de espécies com novas famílias e gêneros. Edimburgo e Kew, Reino Unido: O jardim botânico real; Munique, Alemanha: Botanische Staatssammlung Munich; Oregon, EUA: Universidade Estadual de Oregon. <http://www.amf-phylogeny.com>. Acessado em 22 de maio de 2017.
- Schüßler A, Schwarzott D, Walker C (2001) A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. Mycological Research 105:1413-1421
- Sheals JG (1957) The Collembola and Acarina of uncultivated soil. Journal of Animal Ecology 26:125-134
- Shuster E, Dunn-Coleman N, Frisvad JC, Van Dijck PWM (2002) On the safety of *Aspergillus niger* – a review. Appl Microbiol Biotechnol 59:426-435.
- Silva DP, Vital MVC, Marco PJR (2007) VIII Congresso de Ecologia do Brasil, In Assimetria flutuante como ferramenta de bioindicação: os efeitos da cidade de Manaus (AM) sobre *Erythemis peruviana* (RAMBUR, 1842) (Insecta odonata) junto à bacia do rio Amazonas, 5, 2007, Caxambu. Anais...Caxambu:2007.
- Silva LN, Amaral AA (2013) Amostragem da mesofauna e macrofauna de solo com armadilha de queda. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento sustentável 8(5):108-115
- Silveira APD (2000) Avaliação de fungos micorrízicos arbusculares e sua importância ambiental. In: Frighetto RTS, Valarini PJ (Coord) Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico. Embrapa Meio Ambiente: Jaguariuna, pp 61-76
- Skulberg AM (1995) Biophotolysis, hydrogen production and algal culture technology. In: Yürüm Y (ed) Hydrogen energy system. Production and utilization of hydrogen and future aspects. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 95-110
- Smithers CN (1970) Psocoptera: The Insects of Australia. Cornell University 1:367-375
- Souto PC (2006) Acumulação e decomposição da serapilheira e distribuição de organismos edáficos em área de caatinga na Paraíba, Brasil. Tese, Universidade Federal da Paraíba
- Souza TAF (2016) Microbiologia Geral. Edição do Autor, João Pessoa
- Souza MH, Vieira BCR, Oliveira APG, Amaral AA (2015) Macrofauna do solo. Enciclopédia Biosfera 11 (22):115-131

Spadotto CA, Gomes MAF, Luchini LC, Andrea MM (2004) Monitoramento do risco ambiental de agrotóxicos: princípios e recomendações. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna

Storer TI, Usinger RL (1979) Zoologia geral. Nacional, São Paulo

Stütz JC, Morton JB (1996) Successive pot cultures reveal high species richness of arbuscular endomycorrhizal fungi in arid ecosystems. *Canadian Journal of Botany* 74:1883-1889

Swift MJ, Heal OW, Anderson JM (1979) Decomposition in terrestrial ecosystems. Blackwell, Oxford

Swift MJ, Heal OW, Anderson JM (1979) Decomposição em Ecossistemas Terrestres. University of California Press, Berkeley 5:167-219

Tilak KVBR, Ranganayaki N, Pal KK, De R, Saxena AK, Nautiyal CS, Mittal S, Tripathi AK, Johri BN (2005) Diversity of plant growth and soil health supporting bacteria. *Current Science* 89:136-150

Tommerup IC, Sivasithamparam K (1990) Zygospores and Asexual Spores of *Gigaspora decipiens*, an Arbuscular Mycorrhizal Fungus. *Mycological Research* 94:897-900

Tortora GJ, Funke BR, Case CL (2013) Microbiologia. 12. ed. Artmed, Porto Alegre

Tran Van, V, Gillis M, Heber KP, Fernandez M, Segers P, Martel MH, Berge O, Meyer JM, Heulin T (1994) Isolation from the rice rhizosphere of a new species of nitrogen-fixing Proteobacteria, belonging to the genus *Burkholderia*. In: Hegazi NA, Fayed M, Monib M (ed) Nitrogen fixation with non-legumes. American University in Cairo Press, Cairo, pp 299-309

Trappe JM (1982) Synoptic key to the genera and species of Zygomycetous mycorrhizal fungi. *Phytopathology* 72:1102-1108

Trelo FV, Brown GG, Constantino R, Louzada, JNC, Lulzão FJ, Lorals JW, Zanett R (2009) A importância da mesa e macrofauna do solo na fertilidade e como biondicadores. SBCS, Viçosa, 2009.

Tripathi G, Deora R, Singh J (2010) Biological, chemical and biochemical dynamics during litter decomposition at different depths in arable soil. *Journal of Ecology and the Natural Environment* 2:38-51

Usher MB, Parr T (1977) Are there successional changes in arthropod decomposer communities? *Journal of Environmental Management*, 5:151-160

Valarini PJ, Valarini PJ, Alvarez MCD, Gascó JM, Guerrero F, Tokeshi H (2002) Integrated evaluation of soil quality after the incorporation of organic matter and microorganisms. *Brazilian Journal of Microbiology* 33:35-40

Vincent JMA (1970) Manual for the practical study of root-nodule bacteria. Blackwell, Oxford

Vinuesa P, Silva C, Werner D, Martínez-Romero E (2005) Population genetics and phylogenetic inference in bacterial molecular systematics: The roles of migration and recombination in *Bradyrhizobium* species cohesion and delineation, *Molecular Phylogenetics and Evolution* 34:29-54

Zotarelli L (2000) Balanço de nitrogênio na rotação de culturas em sistema de plantio direto e convencional na região de Londrina - PR. Dissertação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Wallwork JA (1976). The distribution and diversity of soil fauna. Academic Press, London

Wasilewska L (1994) The effect of age of meadows on succession and diversity in soil nematode communities. *Pedobiologia* 38(1):1-11

Whitman WB et al (1998) Prokaryotes: The unseen majority. *Proceeding of the National Academy of Sciences* 95:6578-6583

Whitton BA, Potts M (2000) Introduction to the cyanobacteria. In: Whitton BA, Potts M (ed) *The ecology of cyanobacteria. Their diversity in time and space*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp 1-11

Wilson EO (1987) The Little Things that Run the World: The Importance and Conservation of invertebrates. *Conservation Biology* 1:344-346

Woese CR (1987) Bacterial Evolution. *Microbiological Reviews* 51(2):221-271

Wong P, Stenberg NE (1979) Characterization of *Azospirillum* isolated from nitrogen-fixing roots of harvested sorghum plants. *Applied and Environmental Microbiology* 38(6):1189-1191

Yang X, Chen J (2009) Plant litter quality influences the contribution of soil fauna to litter decomposition in humid tropical forests, Southwestern China. *Soil Biology and Biochem* 41:910-918

Yeates GW, Bongers T, Goede RGM, Freckman DW, Georgieva SS (1993) Feeding habits in nematodes families – an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology* 25:315-331

Yeates GW, Ferris H, Moens T, Van Der Putten WH (2009) The role of nematodes in ecosystems. In: Wilson MJ, Kakouli-Duarte T (ed) *Nematodes as environmental indicators*. CABI, Wallingford, pp 1-44

Os autores

