

# MICROBIOLOGIA DO SOLO: MICRORGANISMOS EM FOCO

*Data de submissão: 14/01/2024*

*Data de aceite: 01/02/2024*

### **Sánara Adrielle França Melo**

Universidade Federal do Vale do São  
Francisco  
Petrolina – Pernambuco  
<https://orcid.org/0000-0002-3337-3597>

### **Élice Brunelle Lessa dos Santos**

Universidade Federal do Vale do São  
Francisco  
Petrolina – Pernambuco  
<https://orcid.org/0000-0003-2632-1040>

### **Eduardo Michelin do Nascimento**

Universidade Federal da Bahia  
Salvador – Bahia  
<https://orcid.org/0000-0002-8138-2295>

### **Félix Barbosa Reis**

Universidade Federal do Vale do São  
Francisco  
Petrolina – Pernambuco  
<https://orcid.org/0000-0002-9993-529X>

### **Jarlyanne Nargylla Costa Sousa**

Universidade Federal do Vale do São  
Francisco  
Petrolina – Pernambuco  
<https://orcid.org/0000-0001-6746-2056>

### **Diana Valadares Pessoa**

Universidade Estadual do Maranhão  
São Bento – Maranhão  
<http://lattes.cnpq.br/0579416972100740>

### **Fabiana Castro Alves**

Universidade Estadual do Maranhão  
São Bento – Maranhão  
<https://orcid.org/0000-0002-4463-2582>

### **João Soares Gomes Filho**

Universidade Estadual do Maranhão  
São Luis – Maranhão  
<https://orcid.org/0000-0003-3371-3368>

### **Steyce das Neves Barbosa**

Universidade Federal do Vale do São  
Francisco  
Petrolina – Pernambuco  
<https://orcid.org/0000-0002-1806-4358>

**RESUMO:** O solo é um ambiente dinâmico e complexo, sendo o habitat de uma grande diversidade de macro e microrganismos. A descontinuidade e variabilidade no tamanho das partículas, dos agregados do solo, possibilitam que ele seja composto por inúmeras pequenas comunidades invisíveis a olho nu. Os microrganismos atuam na manutenção da fertilidade do solo através da ciclagem de nutrientes influenciando sua disponibilidade, melhorando a estrutura do solo, apoiando o crescimento saudável das plantas e degradando poluentes orgânicos. Com isso, essa revisão de literatura

foi elaborada com o objetivo de fazer um levantamento bibliográfico sobre a Biologia do Solo, focando as questões microbiológicas relacionadas à qualidade do solo e produção de forragens.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biodiversidade; Produção Vegetal; Reciclagem de Nutrientes

## SOIL MICROBIOLOGY: MICROORGANISMS IN FOCUS

**ABSTRACT:** Soil is a dynamic and complex environment and is home to a great diversity of macro- and micro-organisms. The discontinuity and variability in the size of soil particles and aggregates make it possible for it to be made up of countless small communities invisible to the naked eye. Microorganisms work to maintain soil fertility by cycling nutrients, influencing their availability, improving soil structure, supporting healthy plant growth, and degrading organic pollutants. This literature review was prepared with the aim of carrying out a bibliographical survey on soil biology, focusing on microbiological issues related to soil quality and forage production.

**KEYWORDS:** Biodiversity; Nutrient Recycling; Plant Production

### 1 | INTRODUÇÃO

O solo é considerado um dos mais importantes reservatórios de biodiversidade do planeta terra, devido à numerosa e diversa quantidade de organismos vivos que habitam esse ambiente. Estes organismos são classificados em grupos conforme suas características e atuação, que por sua vez são influenciadas pelas práticas agropecuárias (CERETTA e AITA, 2008).

O impacto ambiental das práticas agropecuárias tem ocasionado alterações nas características e na qualidade do solo, causando perdas de ordem financeiras, pelo acréscimo dos custos de produção e pela redução ou prejuízo da competência produtiva. Dados da FAO (2015), mostram que 33% dos solos do mundo encontram-se em processo de degradação.

No Brasil, estima-se que 50% das áreas de pastagens estejam degradadas, o que implica a entender-se que a vida microbiológica do solo esteja em déficit, e assim este se torna incapazes de sustentar as exigências para a produtividade animal (VILELA et al., 2017).

Ainda que se saiba que a demanda de alimentos ocasionada pelo crescimento populacional tenha potencializado o manejo intensivo do solo a partir do uso de pesticidas, fertilizantes e emprego de monoculturas, atualmente, o interesse em reduzir a degradação e manter a qualidade do solo, é estimulado pela consciência renovada de que o solo é vital para a produção de alimentos, para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a água e a qualidade do ar (VEZZANI; MIELNICZUK, 2009).

Assim, a recuperação das áreas degradadas, principalmente as de pastagem, deve ser realizada para se manter a produção no patamar desejado, e, sobretudo, garantir a

vida do solo. Nessa perspectiva, esta revisão tem por objetivo fazer um levantamento bibliográfico sobre a Biologia do solo, focando as questões microbiológicas relacionadas à qualidade do solo e produção de forragens.

## 2 | SOLO

O solo é um ambiente “vivo”, dinâmico e complexo. É um dos principais compartimentos da biosfera em termos de reservatório biológico, além de funcionar como um importante reservatório de água, suporte essencial do sistema agrícola e atividades humanas. Além disso, serve como habitat de uma grande diversidade de microrganismos e macrorganismos que atuam na transformação e decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e no fluxo de energia no solo (COTTA, 2016).

Ele encontra-se estruturado de maneira heterogênea e descontínua. Possui agregados formados por diferentes proporções de areia, argila e silte, que funcionam como um suporte físico para a aderência microbiana e proporcionam condições diferenciadas de aeração e disponibilidade de nutrientes que possibilitam a coexistência de milhares de microrganismos, com diferenciadas habilidades metabólicas, nessas regiões (DUCHIELLA et al., 2013).

A diversidade microbiana dos diferentes tipos de solo é também bastante extensa que esta diretamente relacionada com um conjunto de fatores: abióticos (atmosfera, temperatura, água, pH, potencial redox, fontes nutricionais, entre outros) e bióticos (genética microbiana, a interação entre os microrganismos, entre outros) que permitem o desenvolvimento microbiano e a estruturação da comunidade viva dos solos (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Na agricultura, de maneira geral, a vida do solo tem uma influência direta nas características físicas, químicas e biológicas do solo, estando diretamente ligada à produtividade e qualidade das colheitas.

## 3 | MICRORGANISMOS DO SOLO

A microbiologia constitui um dos cinco fatores que interagem na formação do solo, em conjunto com o clima, topografia, material parental e tempo. Portanto, é um dos elementos essenciais que ajudam ativamente na melhoria e manutenção da qualidade do solo para permitir o desenvolvimento dos mais diversos tipos de culturas (SILVA et al., 2006).

A relação entre a diversidade de animais e os processos que ocorrem no solo permite identificar grupos funcionais da fauna edáfica mais sensíveis ao sistema. Os microrganismos se enquadram nesses critérios, sendo responsáveis por serviços ambientais de importância fundamental, tais como os processos de formação do solo, decomposição de resíduos orgânicos (animais e vegetais), ciclagem de nutrientes e formação da matéria orgânica, biorremediação de poluentes e agrotóxicos, entre outros (MENDES et al., 2010).

Estes microrganismos estão localizados na rizosfera, onde realizam transformações bioquímicas da matéria orgânica, promovendo ou inibindo o crescimento das plantas (ALEXANDER, 1977). É importante ressaltar, que os microrganismos não existem isoladamente, eles interagem e essas interações influenciam a fertilidade do solo e consequentemente na produtividade das culturas. Quando o solo é pobre em microrganismos ocorre perda nos teores de matéria orgânica, o que representa problemas para o sistema agrícola (CHAER et. al, 2014).

Apresentam-se no solo de maneira diversa e numerosa, e em função do seu tamanho podem ser classificados como macrorganismos e microrganismos. Os microrganismos são as bactérias, actinomicetos, fungos e algas. Já o grupo de macrorganismos inclui as minhocas, cupins e nematoides (CERETTA e AITA, 2008).

### 3.1 Bactérias

As bactérias são os organismos em maior número no solo ( $10^6$ - $10^9$  n<sup>o</sup>/g) embora sua biomassa represente apenas de 25-30 % da biomassa microbiana total dos solos agrícolas (MARTINS, 2021).

As bactérias melhor representadas no solo são as diferentes espécies do gênero: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Achromobacter*, *Xanthomonas* e *Micrococcus*. Estas são responsáveis por processos bioquímicos de grande interesse para o sistema solo-planta (transformações de nutrientes minerais no solo). Além desses, representantes dos gêneros *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Bradyrhizobium* e *Azorhizobium*, que são fixadores de nitrogênio em simbiose com leguminosas e/ou gramíneas são bastante utilizados (MARTINS, 2021).

### 3.2 Actinomicetos

Os actinomicetos do solo, apesar de pertencerem ao mesmo grupo taxonômico das bactérias, exercem funções que, com exceção de certas características próprias, se assemelham muito às desempenhadas pelos fungos (GALLI, 1964). A sua presença no solo é detectada pela produção de substâncias voláteis com cheiro rançoso característico, que emanam de solos recém arados e são denominadas “geosmin” (MARTINS, 2021).

O gênero *Sheptomyces* é o mais representativo (70-90 % dos actinomicetos do solo), seguidos pelos gêneros *Nocardia*, *Actinomyces*, *Micromonospora* e *Frankia*.

Todos os organismos deste grupo são capazes de decompor matéria orgânica em temperaturas mais altas, como na adubação verde, compostagem e esterqueiras, e de degradarem celulose e proteínas com pequena imobilização de nitrogênio. Além disso, esse grupo é capaz de produzir antibióticos que proporcionam uma proteção contra bactérias e fungos patogênicos. Alguns deles, como representantes do gênero *Frankia* formam nódulos e fixam nitrogênio em simbiose com plantas (MARTINS, 2021).

### 3.3 Fungos

Embora não sejam os microrganismos em maior abundância no solo ( $10^3$ - $10^6$ /g solo) os fungos representam de 70-80 % da biomassa microbiana do solo, principalmente nos solos ácidos, ricos em matéria orgânica e umidade próxima a capacidade de campo (MARTINS, 2021).

Dentre as funções dos fungos no solo, uma das principais é a sua capacidade da formação de relações simbióticas mutualista denominadas micorrízicas. Essa simbiose proporciona para a planta elementos essenciais para a sua sobrevivência e desenvolvimento (CERETTA e AITA, 2008).

Os fungos mais representativos do solo são espécies dos gêneros: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizoctonia*, *Humicola*, *Alternaria*, *Phytium*, *Fusarium* e *Rhizopus* (MARTINS, 2021).

### 3.4 Algas

As algas representam um grupo de organismo no solo bastante heterogêneo tanto do ponto de vista morfológico como fisiológico. Elas são consideradas organismos incorporadores de matéria orgânica aos solos, pois convertem  $H_2O$ +nutriente+luz, em biomassa, sendo assim, considerados os mais fotossintetizantes deste meio. Além disso, apresentam a capacidade de fixarem  $N_2$  atmosférico, em simbiose com plantas ou em vida livre (MARTINS, 2021).

Os principais tipos no solo são representados pelas divisões: Clorophycofita (algas verdes); Chrysophycofita (diatomáceas e algas verdes-amareladas); Euglenophycofita (euglenóides-unicelulares móveis) e, Rhodophycofita (algas avermelhadas) (MARTINS, 2021). Porém, devido a sua capacidade de sintetizar as substâncias orgânicas que necessitam, através do uso da energia solar, elas independem da matéria orgânica do solo e, por isso, e como consequência, não exercem nenhum papel de maior importância na microbiologia do solo (CERETTA e AITA, 2008).

## 4 | OUTROS MICRORGANISMOS DO SOLO

Além das bactérias, actinomicetos, fungos e algas, podemos encontrar em atividade nos solos outros microrganismos como os vírus e os protozoários.

### 4.1 Vírus

Os vírus são moléculas de DNA ou RNA cobertos pelo capsídeo (subunidade proteica - o capsômeros que são responsáveis pela especificidade viral) e não são considerados organismos no senso estrito, pois não tem a capacidade de autorreprodução ou crescimento. Entretanto, mesmo tendo seu papel ainda pouco explorado nesse ambiente, os vírus do

solo são conhecidos por serem abundantes, morfologicamente diversos e abranger uma ampla gama de tamanhos de genoma (PRINGENT et al., 2005; WILIAMSON et al., 2005), os vírus são microrganismo promissores para uso em controle biológico de ervas daninhas e insetos.

Segundo Wigington et al., (2016) os vírus, especialmente aqueles que infectam bactérias e arqueias, são bastante abundantes quando comparados aos hospedeiros concorrentes e desempenham um importante papel na formação da diversidade genética bacteriana, estrutura da comunidade e função.

Conforme relatado no estudo de Williamson et al. (2017), a abundância viral nos solos pode variar de abaixo dos limites de detecção em desertos quentes a mais de 1 bilhão por grama em áreas consideradas com alto teor de umidade. Segundo os autores, a diversidade viral do solo é altamente subestimada e subamostrada, embora as medidas atuais de riqueza viral sejam maiores para solos do que para ecossistemas aquáticos.

Na tabela 01 a seguir, adaptada de Zablocki, Adriaenssens & Cowan et al. (2015), encontram-se alguns estudos realizados para identificação de carga viral em diversos tipos de solo.

<b>Autores, ano de publicação</b>	<b>Tipo (s) de solo</b>	<b>Localização (ões) de coleta de amostra</b>	<b>Método (s) usado (s) <sup>a</sup></b>
Pearce et al. (2012)	Solo superficial	Ilha Alexandre, Antártica	Pirosequenciamento de metagenoma Shotgun
Prestel et al. (2013)	Superfície de areia de duna	Deserto de Mojave, EUA	EM, amplificação aleatória para DNA viral (Sanger)
Srinivasiah et al. (2013)	Solo superficial (Antártica); solo argiloso (EUA)	Antártica (lagoa do Tom e do Obelisco); Delaware, EUA	Impressão digital da comunidade viral RAPD
Srinivasiah et al. (2015)	Solo argiloso	Delaware, EUA	Microcosmos, impressão digital da comunidade viral RAPD, contagem de epifluorescência
Adriaenssens et al. (2015)	Rochas associadas ao solo	Deserto do Namibe	Sequenciamento de metagenoma viral Shotgun (Illumina)

<sup>a</sup> EM, microscopia eletrônica; PFGE, eletroforese em gel de campo de pulso; LASL, biblioteca shotgun amplificada por linker; RAPD, DNA polimórfico amplificado aleatoriamente.

Tabela 1. Estudos baseados em solo de rendimento médio a alto relativos à ecologia viral desde 2012

Adaptado de Zablocki , Adriaenssens & Cowan et al. (2016)

## 4.2 Protozoários

Os protozoários constituem a forma mais simples da vida animal, são um importante elo na chamada Cadeia Alimentícia do Solo. Ocorrem no solo como saprozóicos (que vivem a custas de restos orgânicos depositados no solo) e com maior frequência como holozóicos (que ingerem células bacterianas vivas, predadores), sendo algumas espécies

fotossintetizantes.

A densidade de protozoários no solo, vai variar em função da fertilidade de  $10^4 \text{ g}^{-1}$  a  $10^5 \text{ g}^{-1}$  de solo (BRANDÃO, 1993), com biomassa de 15 a 150  $\text{kg ha}^{-1}$  (SIQUEIRA, 1988), e localizar-se nos espaços interagregados (JASTROW; MILLER, 1991). Os três principais grupos de protozoários são os flagelados, os ciliados e as amebas, sendo os dois primeiros.

A principal fonte de alimento dos protozoários são bactérias, actinomicetos e fungos (dependendo do tamanho), e segundo Garcia (2003), a quantidade de bactérias e actinomicetos, que são o alimento preferencial dos protozoários, em um hectare pode ser de até 5 toneladas por hectare. O aumento da biomassa bacteriana, por exemplo, faz com que o número de protozoários bacteriófagos e de nematoides aumente em até 40x em relação ao solo adjacente à rizosfera (GRIFFITHS, 1990).

Os estudos sobre os protozoários no solo, se iniciaram a partir da hipótese de Russell & Hutchinson (1909), que diziam que a presença de protozoários no solo o tornava menos fértil, o que acabava por reduzir o número de bactérias. Essa hipótese foi refutada posteriormente por estudos que mostravam que a presença de protozoários acaba por estimular a atividade bacteriana, sendo importante ressaltar ainda que aproximadamente 70% da respiração total dos microrganismos do solo pode ser atribuída aos protozoários (SOHLENIUS, 1980; FOISSNER, 1987).

Ao se alimentarem de bactérias, algas e pequenos fungos, os protozoários passam a ser de extrema importância na regulação do número desses grupos de organismos, mantendo o equilíbrio biológico do solo. Com isso, quando o solo tem ausência de protozoários, pode haver explosão da quantidade de bactérias e esse aspecto poderá comprometer a reciclagem de nitrogênio.

Utilizando isótopos radioativos, o estudo realizado por Crotty et al., (2012) avaliou o papel dos protozoários do solo na mineralização da biomassa microbiana, e consequentemente na ciclagem do carbono e nitrogênio, em pastos e bosques com o mesmo tipo de solo. Observaram que calembolas, minhocas, nematoides e larvas de insetos tiveram uma maior quantidade de nitrogênio e de carbono, seja por consumir diretamente os protozoários ou por absorção da biomassa.

## 5 | MICROBIOLOGIA DO SOLO EM SISTEMAS INTEGRADOS

A utilização de sistemas integrados de produção se apresenta como uma das opções para garantir melhorias na produção de grãos, carne e madeira com sustentabilidade e conservação desses recursos. Nos sistemas de produção agrícola, os atributos microbianos do solo, como a diversidade de microrganismos, atividade enzimática, taxa de respiração e biomassa microbiana, são considerados indicadores sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola (EPELDE et al., 2014; FERREIRA et al., 2010; FERREIRA; WENDLAND; DIDONET, 2011).

Visto que os microrganismos são parte integrante da funcionalidade dos ecossistemas, é importante se monitorar por longo prazo os sistemas integrados de produção, a fim de entender melhor aspectos de microbiologia de solos como: interação microrganismos x sistemas de produção; interação microrganismos x microrganismos; e interação microrganismos x plantas cultivadas nos sistemas.

Estudo realizado por Ferreira, Stone & Martin-Didonet (2017), sobre a População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção, avaliaram o efeito de sistemas de manejo do solo e época de amostragem nos atributos microbianos do solo cultivado com arroz em sistema agroecológico de produção. Observaram que os sistemas de cultivo provocam alterações nos atributos microbiológicos do solo quando comparados com a condição preservada do ambiente de mata e que o número de microrganismos cultiváveis avaliados era pouco impactado pelos sistemas de manejo do solo; contudo, menor número de microrganismos foi observado em solo de mata.

Os sistemas integrados podem ter diferentes configurações produtivas no campo, sendo que nos últimos anos tem se adotado cada vez mais a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). No caso do ILPF, destaca-se como benefícios obtidos no decorrer dos anos (MEDRADO, 2000):

- Melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo;
- Aumento da eficiência do uso de insumos; Redução dos custos das atividades agrícola, pecuária e florestal;
- Produção ecologicamente correta de madeira;
- Redução da dependência do uso de áreas marginais para produção agropecuária.

## 5.1 Nematoides como biodicadores em sistemas de produção

Os nematoides constituem um diverso grupo dos invertebrados, abundantes como parasitas ou na forma de vida livre no solo, em ambientes aquáticos ou marinhos. Diversas formas são utilizadas para avaliar o desempenho do estabelecimento de novos sistemas, como por exemplo, indicadores químicos, físicos e biológicos.

Os nematoides atuam como bons bioindicadores na avaliação de qualidade do solo e alterações ambientais (NEHER, 2001; GOULART, 2003; NEILSON, 2005; CARES, 2006; TOMAZINI, 2008), principalmente por:

- Ocorrer em qualquer ambiente que forneça uma fonte de carbono orgânico;
- Ocorrer em qualquer tipo de solo e condições climáticas;
- Constituir comunidade multiespecífica;
- Certos táxons podem apresentar sensibilidade diferenciada a distúrbios ocorri-

dos no meio;

- Apresentar diversidade trófica de fácil identificação por análise morfológica.

Segundo Whitford et al. (1982), uma das maiores importâncias em utilizar nematoides como indicadores da qualidade do solo e alteração ambiental encontram-se no seu papel regulatório na velocidade das transformações, como por exemplo, as transformações da matéria orgânica.

Os nematoides possuem variadas formas de adaptação a mudanças que ocorrem no ambiente causadas por diversos fatores, entre os quais o manejo realizado nos cultivos, a época de plantio, o estresse climático, a fisiologia das plantas e o melhoramento genético (BLAKELY et al., 2002).

Índices ecológicos têm sido desenvolvidos para considerar a comunidade de nematoides como um indicador em ecossistemas aquáticos e terrestres como o índice maturidade (IM) e o índice de parasitas de plantas (IPP) (BONGERS, 1990; BONGERS et al., 1991). Da mesma forma são utilizados índices que diagnosticam a cadeia alimentar do solo, como o índice de enriquecimento (IE), índice de estrutura (IS) e índice canal (IC) (FERRIS et al., 2001). Essas análises acabam por oferecer informações complementares que quando usados em combinação revelam informações descritivas e quantitativas da comunidade de nematoide do solo e as condições dos sistemas naturais e/ou agrícolas.

## 6 | MICROBIOLOGIA DO SOLO ASSOCIADA À PRODUÇÃO DE FORRAGEM

O uso de microrganismos com a finalidade de melhorar a disponibilidade de nutrientes às plantas é uma prática de grande importância e muito necessária para a agricultura. Entre os sistemas biológicos envolvendo planta e microrganismos temos os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) que é considerada importante para o processo de nodulação (CRUZ et al. 2017). Segundo Tavares (2016), a dupla inoculação é capaz de reduzir os custos com fertilizantes nitrogenados e fosfatados, além de conferir às plantas maior capacidade de absorção de nutrientes, induzindo ao aumento de produtividade.

A ação dos microrganismos, especialmente os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), em solos de baixa a média fertilidade possibilita maior eficiência no transporte e absorção do fósforo, aumentando a disponibilidade deste nutriente às plantas. Desta forma, a inoculação de leguminosas com FMAs selecionados pode contribuir para acelerar o seu estabelecimento no campo, pois aumentam sua capacidade de absorção de nutrientes e água do solo, melhorando o seu estado nutricional e tornando-as mais resistentes ao período seco. Como consequência, as taxas de crescimento são aumentadas e as plantas podem ser mais competitivas no campo (MIRANDA, 2008)

Segundo MIRANDA (2008), o amendoim forrageiro é uma leguminosa promíscua, capaz de nodular e fixar nitrogênio em simbiose com grande variedade de bactérias do gênero *Rhizobium* e com diversas espécies de FMAs, proporcionando muitos benefícios

ao meio ambiente e ao sistema de produção. Para Azevedo (2010), cada planta apresenta peculiaridades quando em associação com FMAs, o que vai depender da espécie de FMA inoculada, do funcionamento e eficiência da simbiose, considerando as diferentes combinações de espécies de fungos com a planta hospedeira.

Os fungos micorrízicos melhoram a adaptação de plantas em simbiose, realizando o aumento à resistência de raízes contra patógenos e capacidade de captação de água. Esses fungos podem influenciar no crescimento vegetal, ajudando no seu estabelecimento em áreas com solos pobres ou em condições de estresse hídrico, aumentando a absorção de água e de nutrientes pelas plantas, principalmente elementos minerais de pouca solubilização (RODRIGUES, 2008). Outros fatores da planta como idade, estado nutricional, presença de compostos fungistáticos, desfolha, pastejo, poda e aplicação de fitohormônios também influenciam a micorrização. Por outro lado, a colonização das raízes e produção de esporos de FMA é afetada por diversos fatores, entre os quais a aplicação de fertilizantes, a intensidade de luz e desfoliação, que reduzem a fotossíntese e, conseqüentemente, o suprimento de carbono (CAVALCANTE et al., 2009).

Pesquisas revelam que a presença de fungos micorrízicos no sistema radicular das plantas aumentam a absorção de nutrientes do solo em especial os elementos minerais pouco móveis no solo, exemplo fósforo (AZEVEDO, 2010) e promovem também a maior nodulação e conseqüentemente a maior fixação de nitrogênio (PIZZANI, 2008).

## 7 I FIXAÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO EM LEGUMINOSAS E GRAMÍNEAS

Em plantas, as elevadas exigências de N o tornam um dos fatores mais limitantes para os sistemas agrícolas e naturais (PEÑUELAS et al., 2013), sendo as principais fontes de fornecimento: 1) o solo, principalmente pela decomposição/mineralização da matéria orgânica; 2) fixação não biológica, resultante de processos naturais; 3) fertilizantes nitrogenados e 4) fixação biológica do N atmosférico (N<sub>2</sub>) (HUNGRIA; CAMPO; MENDES, 2007).

No que se refere ao N do solo, o estoque contido na matéria orgânica é finito, passível de exaurimento, após cultivos sucessivos. As condições climáticas predominantes nos trópicos intensificam a decomposição da matéria orgânica, bem como as perdas, e resultam em baixos teores do elemento (MAIA et al., 2008).

Em áreas degradadas ou fortemente alteradas pela ação antrópica, onde o teor de matéria orgânica do solo já é muito baixo (SOARES, 2007), o crescimento das plantas é induzido pela adição de grandes quantidades de adubos orgânicos, fertilizantes nitrogenados ou pelo processo natural da FBN, que constitui na quebra da ligação tripla do N<sub>2</sub> atmosférico. No entanto, apenas uma parcela relativamente pequena de espécies de procariotos possui a enzima nitrogenase que é capaz de reduzir o N<sub>2</sub> em N biologicamente disponível. Estes organismos são chamados de fixadores de N<sub>2</sub> ou diazotróficos e são eles

os mediadores do processo de FBN, que na sua maioria, envolve as formas de simbiose microrganismo-planta vascular (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A simbiose rizóbio-leguminosa forma nódulos radiculares, que são estruturas nas raízes habitadas por microrganismos específicos como as bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* e os actinomicetos do gênero *Frankia*, que fixam o N<sub>2</sub> atmosférico. Esse N reativo entra nos processos do ciclo de N através das plantas, animais, microrganismos, solos, soluções e sedimentos. Nessa relação o microrganismo (rizóbio) utiliza a planta (leguminosa) como fonte de carbono, enquanto libera o N fixado que será convertido em N orgânico e utilizado pela planta ou liberado como N inorgânico reduzido (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (POOLE; ALLAWAY, 2000; LODWIG et al., 2003; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As entradas de nitrogênio no ecossistema pastagem se dão geralmente por adubação nitrogenada e pela introdução de leguminosas forrageiras (ANDRADE, VALENTIM e CARNEIRO, 2002). A adubação mineral permitiu ganhos na biomassa seca da pastagem e no número de perfilhos (BRAZ, URQUIAGA, et al., 2004), entretanto tem sido pouco utilizada devido à baixa eficiência dos adubos nitrogenados e custo elevado.

A consorciação de gramíneas com leguminosas, além de servir como aporte de N, confere vários benefícios tais como: aumento da oferta de forragem em algumas épocas do ano; melhoria da qualidade nutricional das forragens; aumento da produtividade animal; aumento da diversidade da pastagem; recuperação das áreas degradadas; redução da pressão ambiental por fertilizantes químicos e a tolerância ao sombreamento (CARVALHO e PIRES, 2008) e tem sido citada por muitos autores como uma alternativa econômica para a melhoria das pastagens (PACIULLO, AROEIRA, et al., 2003; CARVALHO e PIRES, 2008; DU, TIAN, et al., 2009).

O sucesso da inserção dessas leguminosas depende, principalmente, do estabelecimento de uma simbiose eficiente com os micro-organismos diazotróficos nativos. A eficiência simbiótica pode ser restringida por diversas condições relacionadas à planta, aos micros simbiote e às condições edafoclimáticas (SILVA, 2017).

Para o sucesso da pastagem que utilize o consórcio de leguminosa com gramíneas é de suma importância a escolha da leguminosa que se adapte às condições edafoclimáticas e pressão de pastejo, e ainda que apresente alta capacidade de reprodução, alta eficiência com o simbiote que fixa o nitrogênio e boa competição com a gramínea que será cultivada em conjunto (CARVALHO e PIRES, 2008).

## 8 | CONCLUSÃO

A pecuária e a produção agrícola exercem um papel importante para a economia brasileira. Por isso, faz-se necessário a utilização consciente dos solos dentro do limite dos ecossistemas naturais, sendo estes gerenciados de modo a sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou melhorar a água e qualidade do ar, a fim de promover a saúde

vegetal e animal.

Assim, conhecer a diversidade de microrganismos existentes no solo, suas funções, interações, vantagens e a relação com as leguminosas e gramíneas é fundamental para que se tenha uma melhor eficiência e capacidade de produção de pastagens.

## REFERÊNCIAS

ADRIAENSSENS, E. M.; VAN ZYL, L.; DE MAAYER, P.; RUBAGOTTI, E.; RYBICKI, E.; TUFFIN, M.; COWAN, D. A. Metagenomic analysis of the viral community in Namib Desert hypoliths. **Environmental Microbiology**, v. 17, n. 2, p. 480–495, 2014;

ALEXANDER, Martin. **Introduction to soil microbiology**. 2. ed. New York: Wiley, 472 p., 1977.

ANDRADE, C. M. S.; VALENTIM, J. F.; CARNEIRO, J. C. Árvores de baginha (*Stryphnodendron guianense* (Aubl.) Benth.) em ecossistemas de pastagens cultivadas na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 2, p. 574-582, 2002.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66–75, 2007.

AZEVEDO, José Marlo de Araújo. **Variabilidade genética entre acessos de Amendoim Forrageiro quanto à associação micorrízica e resposta ao fósforo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós- Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2010.

BLAKELY, J.K.; NEHER, D. A.; SPONGBERG, A. L. Soil invertebrate and microbial communities, and decomposition as indicators of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination. **Applied Soil Ecology**, v. 21, n. 1, p. 71-88, 2002.

BONGERS T.; ALKEMADE, R.; YEATES G. W. Interpretation of disturbance-induced maturity decrease in marine nematode assemblages by means of the Maturity Index. **Marine Ecology Progress Series**, v. 76, n. 2, p. 135-142, 1991.

BONGERS, T. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. **Oecologia**, v. 83, n. 1, p. 14-19, 1990.

BRANDÃO, E. M. Os componentes da comunidade microbiota do solo. In: CARDOSO, E. J.; TSAI, S. M.; NEVES, M. C. P. **Microbiologia do solo**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992, p. 1-16.

BRAZ, S. P.; URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M. **Degradação de pastagens, matéria orgânica do solo e a recuperação do potencial produtivo em sistemas de baixo “input” tecnológico na região dos cerrados**. Circular Técnica, Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2004.

CARES, J. E. Nematóides como indicadores ambientais de solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 26., 2006, Campos dos Goytacazes. **Anais [...]**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2006.

CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V. Leguminosas tropicais herbáceas em associação com pastagens. **Archivos de Zootecnia**, v. 57, p. 103-113, 2008.

- CAVALCANTE, U. M. T.; GOTO, B.T.; MAIA, L. C. Aspectos da simbiose micorrízica arbuscular. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 5, p. 180-208, 2008.
- CERETTA, C. A.; AITA, C. **Curso de Agricultura Familiar e Sustentabilidade**: Biologia do Solo – 2º semestre. Santa Maria: [Universidade Federal de Santa Maria], 2008. [180] p.
- CHAER, G. M.; GAIAD, S.; SANTOS, A. B.; GROCHOSKI, R. CARACTERIZAÇÃO MICROBIOLÓGICA DO SOLO. In: PRADO, R. B.; FIDALGO, E. C. C.; BONNET, A. **Monitoramento da revegetação do COMPERJ**: etapa inicial. Brasília: Embrapa, 2014. p. 159-173.
- COTTA, S. R. O solo como ambiente para vida microbiana. In: CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2 ed. Piracicaba: ESALQ. 221 p., 2016. p. 23-36.
- CROTTY, F. V.; ADL, S. M.; BLACKSHAW, R. P. e MURRAY, P.; J. Protozoan Pulses Unveil Their Pivotal Position Within the Soil Food Web. **Microbial Ecology**, v. 63, n. 4, p. 905-918, 2012.
- CRUZ, E. C.; SOBREIRA, A. C.; BARROS, D. L.; GOMIDE, P. H. O. Doses de fósforo e fungos micorrízicos arbusculares no crescimento e produção do feijão-caupi em Roraima. **Boletim do Museu Integrado de Roraima**, v. 11, n. 1, p. 21– 28, 2017.
- DU, Y. M.; TIAN, J.; LIAO, H.; BAI, C. J.; YAN, X. L.; LIU, G. D. Aluminum tolerance and phosphorus efficiency helps *Stylosanthes* better adapt to low-P acid soils. **Annals of Botany**, v. 103, n. 8, p. 1239-1247, 2009.
- DUCHICELA, J.; SULLIVAN, T. S.; ELIANA, B.; BEVER J. D. Soil aggregate stability increase is strongly related to fungal community succession along an abandoned agricultural field chronosequence in the Bolivian Altiplano. **Journal of Applied Ecology**, v. 50, n. 5, p. 1266-1273, 2013.
- EPELDE, L.; BURGESS, A.; MIJANGOS, I.; GARBISU, C. Microbial properties and attributes of ecological relevance for soil quality monitoring during a chemical stabilization field study. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 1-12, 2014.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS –. **Status of the world's soil resources (SWSR)**, 2015.
- FERREIRA, E. P. B.; SANTOS, H. P.; COSTA, J. R.; DE-POLLI, H.; RUMJANEK, N. G. Microbial soil quality indicators under different crop rotations and tillage management. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 177-183. 2010.
- FERREIRA, E. P. B.; STONE, L. F.; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em Sistema agroecológico de produção. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 22-31, 2017.
- FERREIRA, E. P. B.; WENDLAND, A.; DIDONET, A. D. Microbial biomass and enzyme activity of a Cerrado Oxisol under agroecological production system. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 1-9, 2011.
- FERRIS, H.; BONGERS, T.; DE GOEDE, R. G. M. A framework for soil food web diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. **Applied Soil Ecology**, v. 18, n. 1, p. 13-29, 2001.
- FOISSNER, W. Soil protozoa: fundamental problems, ecological significance, adaptations in ciliates and testaceans, bioindicators and guide to the literature. **Progress in Protistology**, p. 69-212. 1987.

GARCIA, J. L. M. **Curso Teórico e Prático sobre agricultura biológica**. Instituto de Agricultura Biológica: Itupeva, 2003.

GOULART, A. M. C.; FERRAZ, L. C. C. B. Comunidades de nematoídeos em cerrado com vegetação original preservada ou substituída por culturas. **Diversidade trófica. Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 123-128, 2003.

GRIFFITHS, B. S. A comparison of microbial-feeding nematodes and protozoa in the rhizosphere of different plants. **Biology and Fertility of Soils**, v. 9, p. 83-88, 1990.

GUIMARAES, E. S.; SANTOS, C. L.; SILVA, L. J. A.; HENTZ, A.M. Caracterização Morfológica dos solos de quintal agroflorestal, floresta secundária e cultivo de maracujá no Assentamento Alegria, sudeste do Pará. **Revista Agroecossistemas**, v. 5, p. 45-49, 2013.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Documentos 283, Londrina: Embrapa Soja, 2007.

JASTROW, J. D.; MILLER, R. M. Methods for assessing the effects of biota on soil structure. *In*: CROSSLEY JUNIOR, D. A.; COLEMAN, D. C.; HENDRIX, P. F.; CHENG, W.; WRIGHT, D. H.; BEARE, M. H.; EDWARDS, C. A. **Modern techniques in soil ecology**. Amsterdam: Elsevier Science, 1991, p. 279-303.

LODWIG, E. M.; HOSIE, A. H. F.; BOURDÉS, A.; FINDLAY, K.; ALLAWAY, D.; KARUNAKARAN, R.; DOWNIE, J. A.; POOLE, P. S. Amino acid cycling drives nitrogen fixation in the legume–Rhizobium symbiosis. **Nature**, v. 422, p. 722–726, 2003.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. D. S.; OLIVEIRA, T. S. D.; MENDONÇA, E. D. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. Frações de nitrogênio em Luvisolo sob sistemas agroflorestais e convencional no semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 381-392, 2008.

MARTINS, Marco Antônio. **Microbiologia do Solo**. UENF. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/arquivo/50584465/microbiologia-do-solo-uenf>>. Acesso em: 12 de janeiro de 2023.

MEDRADO, M. J. S. Sistemas agroflorestais: aspectos básicos e indicações. *In*: GALVAO, A. P. M. **Reflorestamento de propriedades rurais para fins produtivos e ambientais: um guia para ações municipais e regionais**. Brasília: Embrapa Florestas, 2000, p., 269-312.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTES, F. M. ZILLI, J. E. **Bioindicadores para avaliação da qualidade dos solos tropicais: utopia ou realidade?** Documentos 246, Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010.

MIRANDA, Elias Melo de. **Fungos Micorrízicos Arbusculares em amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* krap. e greg.)**. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal Fluminense, Seropédica, 2008.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 729 p., 2006.

NEHER, D. A. Role of nematode in soil health and their use as indicator. **Journal of Nematology**, v. 33, n. 4, p. 161-168, 2001.

NEILSON, R. Nematode ecology: a current perspective. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 25. 2005, Piracicaba. **Anais [...]**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

PACIULLO, D. S. C.; AROEIRA, L. J. M.; ALVIM, M. J.; CARVALHO, M. M. Características produtivas e qualitativas de pastagem de braquiária em monocultivo e consorciada com estilosantes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 3, p. 421-426, 2003.

PEARCE, D. A.; NEWSHAM, K. K.; THORNE M. A. S.; CALVO-BADO, L.; KRSEK, M.; LASKARIS, P.; HODSON, A.; WELLINGTON, E. M. Metagenomic analysis of a southern maritime Antarctic soil. **Frontiers in Microbiology**, v. 3: p. 1-13, 2012.

PENUELAS, J.; POULTER, B.; SARDANS, J.; CIAIS, P.; VAN DER VELDE, M.; BOPP, L.; NARDIN, E.; VICCA, S.; OBERSTEINER, M.; JANSSENS, I. A. Human-induced nitrogen–phosphorus imbalances alter natural and managed ecosystems across the globe. **Nature Communications**, v. 4, n. 2934, 2013.

PIZZANI, Rodrigo. **Produção e qualidade de forragens e atributos de um Argissolo Vermelho**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

POOLE, P.S.; ALLAWAY, D. Carbon and nitrogen metabolism in Rhizobium. **Advances in Microbial Physiology**, v. 43, p. 117–163, 2000.

PRESTEL, E.; REGEARD, C.; SALAMITOU, S.; NEVEU, J.; DUBOW, M.S.; The bacteria and bacteriophages from a Mesquite Flats site of the Death Valley desert. **Antonie Van Leeuwenhoek**, v. 103, p. 1329–1341, 2013.

PRIGENT, M.; LEROY, M.; CONFALONIERI F.; DUTERTRE, M.; DUBOW, M. S. A diversity of bacteriophage forms and genomes can be isolated from the surface sands of the Sahara Desert. **Extremophiles**, v. 9, n. 4, p. 289-296, 2005.

RODRIGUES, Glória Regina Gonçalves. **Análise do crescimento de espécies vegetais utilizadas na restauração de áreas de restinga: resposta da adição de fungos micorrízicos arbusculares e nitrogênio**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

RUSSELL, E. J.; HUTCHINSON, H. B. The effect of partial sterilization of soil on the production of plant food. **The Journal of Agricultural Science**, v. 3, n. 2, p.111-114, 1909.

SILVA, R. F.; AQUINO, A. M.; MERCANTE, F. M.; GUIMARÃES, M. F. Macrofauna invertebrada do solo sob diferentes sistemas de produção em Latossolo da Região do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 41, n. 4, n. 4, p. 697-704, 2006.

SILVA, Vinícius Gomes da. **Prospecção de rizóbios de leguminosas arbóreas em solos do Semiárido brasileiro sob diferentes usos da terra**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

SOARES, Pablo Guenther. **Efeito da inoculação com rizóbio no estabelecimento, crescimento inicial e abundância natural de 15N em leguminosas (Fabaceae) arbóreas nativas plantadas por semeadura direta**. 2007. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

SOHLENIUS, B.: The ecological potential of the ectomycorrhizal mycelium. *In*: READ, D. J.; LEWINS, D. H.; FILTER, A. H.; ALEXANDER, I. J. **Mycorrhizas in ecosystems**. Oikos, 1980, p.186-194.

SRINIVASIAH, S.; LOVETT, J.; GHOSH, D.; ROY, K.; FUHRMANN, J. J.; RADOSEVICH, M.; WOMMACK, K. E. Dynamics of autochthonous soil viral communities parallels dynamics of host communities under nutrient stimulation. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 91, n. 7, p. 1-12, 2015.

SRINIVASIAH, S.; LOVETT, J.; POLSON, S.; BHAVSAR, J.; GHOSH, D.; ROY, K.; FUHRMANN, J. J.; RADOSEVICH, M.; WOMMACK, K. E. Direct assessment of viral diversity in soils by random PCR amplification of polymorphic DNA. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 79, n. 18, p. 5450–5457, 2013.

TOMAZINI, M. D.; FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Abundância e Diversidade de Nematóides em Áreas contíguas de Vegetação Natural e Submetidas a Diferentes Tipos de Uso Agrícola. **Nematologia Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 185-192, 2008.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 743-755, 2009.

VILELA, W. T.; MINIGHIN, D. C.; GONÇALVES, L. C.; VILLANOVA, D. F. Q.; MAURÍCIO, R. M.; PEREIRA, R. V. G. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **PUBVET**, v. 11, n. 10, p. 1036-1045, 2017.

WHITFORD, W. G.; FRECKMAN, D. W.; SANTOS, P. F.; ELKINS, N. Z.; PARKER, L. W. The role of nematodes in decomposition in desert ecosystems. *In*: FRECKMAN, D. W. **Nematodes in soil ecosystems**. Austin: University of Texas Press, 1982, p. 98-117.

WIGINGTON, C. H.; SONDEREGGER, D.; BRUSSAARD, C. P.; BUCHAN, A.; FINKE, J. F.; FUHRMAN, J. A.; LENNON, J. T.; MIDDELBOE, M.; SUTTLE, C. A.; STOCK, C.; WILSON, W. H.; WOMMACK, K. E.; WILHELM, S. W.; WEITZ, J. S. Re-examination of the relationship between marine virus and microbial cell abundances. **Nature Microbiology**, v. 1, n. 3, p. 1-8, 15024, 2016.

WILLIAMSON, K. E.; RADOSEVICH, M.; WOMMACK, K. E. Abundance and diversity of viruses in six Delaware soils. **Applied Environmental Microbiology**, v. 71, n. 6, p. 3119-3125, 2005.

WILLIAMSON, K. E.; FUHRMANN, J. J.; WOMMACK, K. E.; RADOSEVICH M. Viruses in Soil Ecosystems: An Unknown Quantity Within an Unexplored Territory. **Annual Review of Virology**, v. 4, n. 1, p. 201-219, 2017.

ZABLOCKI, O.; ADRIAENSSENS, E. M.; COWAN D. Diversity and Ecology of Viruses in Hyperarid Desert Soils. **Applied Environmental Microbiology**, v. 82, n. 3, p. 770-777, 2015.