

***Campus Colorado do Oeste***  
**Coordenação do Curso em Engenharia Agrônômica**

**CELINA ALMODÓVAR GERVÁSIO**

**FOCO NO SOLO: UM GUIA DIDÁTICO E INTERATIVO PARA O ENSINO TÉCNICO**

**COLORADO DO OESTE**

**2025**

**CELINA ALMODÓVAR GERVÁSIO**

**FOCO NO SOLO: UM GUIA DIDÁTICO E INTERATIVO PARA O ENSINO TÉCNICO**

Documentário entregue como Trabalho de Conclusão de Curso ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Colorado do Oeste, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenharia Agrônoma, sob a orientação da professora Stella Cristiani Gonçalves Matoso.

**COLORADO DO OESTE**

**2025**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Gerador de Ficha Catalográfica do IFRO,  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Gervásio, Celina Almodóvar.

Foco no solo: um guia didático e interativo para o ensino técnico / Celina Almodóvar Gervásio, Stella Cristiani Gonçalves Matoso, Gedrierli Pabline Souza da Silva, Colorado do Oeste-RO, 2022.

302 f. : il.

Orientador(a): Prof<sup>a</sup>. Dra. Stella Cristiani Gonçalves Matoso.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO, Colorado do Oeste-RO, 2022.

1. Solos - análise. 2. Agricultura - manejo. 3. Conservação. I. Matoso, Stella Cristiani Gonçalves. II. Matoso, Stella Cristiani Gonçalves (orient.). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia - IFRO. IV. Título.

**Bibliotecário(a) Responsável:** Juliana Machado da Silva Sasset, CRB-11/1140 (Campus Colorado do Oeste)

Stella Cristiani Gonçalves Matoso | Celina Martins Almodóvar  
Gedrierli Pabline Souza da Silva

# FOCO

*no solo:*  
Um guia didático e interativo  
para o ensino técnico

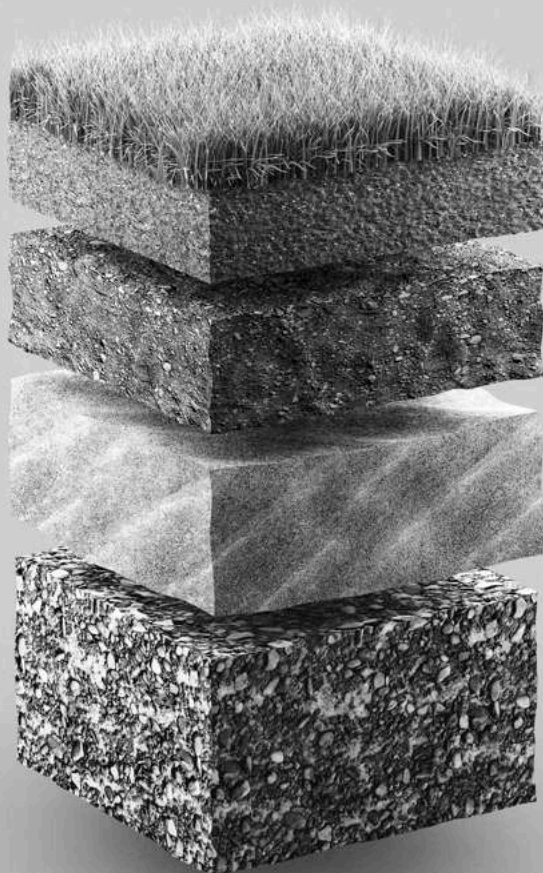


Stella Cristiani Gonçalves Matoso | Celina Martins Almodóvar  
Gedrierli Pabline Souza da Silva

# FOCO

*no solo:*

Um guia didático e interativo  
para o ensino técnico



**Editora chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Editora executiva**

Natalia Oliveira

**Assistente editorial**

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecária**

Janaina Ramos

**Projeto gráfico**

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

**Imagens da capa**

iStock

**Edição de arte**

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

*Open access publication* by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

**Conselho Editorial****Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria



Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof<sup>o</sup> Dr<sup>a</sup> Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas



## Foco no solo: um guia didático e interativo para o ensino técnico

**Diagramação:** Natália Sandrini de Azevedo  
**Correção:** Yaiddy Paola Martinez  
**Indexação:** Amanda Kelly da Costa Veiga  
**Revisão:** Os autores  
**Autores:** Stella Cristiani Gonçalves Matoso  
Celina Martins Almodóvar  
Gedrierli Pabline Souza da Silva

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M433 Matoso, Stella Cristiani Gonçalves  
Foco no solo: um guia didático e interativo para o ensino técnico / Stella Cristiani Gonçalves Matoso, Celina Martins Almodóvar, Gedrierli Pabline Souza da Silva. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF  
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader  
Modo de acesso: World Wide Web  
Inclui bibliografia  
ISBN 978-65-258-0625-9  
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.259220710>

1. Solos - Análise. 2. Agricultura - Manejo. 3. Conservação. I. Matoso, Stella Cristiani Gonçalves. II. Almodóvar, Celina Martins. III. Silva, Gedrierli Pabline Souza da. IV. Título.

CDD 371.425

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

**Atena Editora**  
Ponta Grossa – Paraná – Brasil  
Telefone: +55 (42) 3323-5493  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
[contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)



**Atena**  
Editora  
Ano 2022

## DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão; 3. Certificam que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



## DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



"Na face do velho  
as rugas são letras,  
palavras escritas na carne,  
abecedário do viver.

Na face do jovem  
o frescor da pele  
e o brilho dos olhos  
são dúvidas."

Conceição Evaristo

## AGRADECIMENTOS

Deixamos nossos agradecimentos ao Instituto Federal de Rondônia pela concessão de bolsas às estudantes autoras deste livro, por meio do edital para seleção de projetos de ensino (EDITAL N° 13/2021/COL - CGAB/IFRO, DE 27 DE ABRIL DE 2021). Também pelo fomento à publicação concedido pelo EDITAL N° 13/2021/REIT - PROPESP/IFRO, DE 12 DE NOVEMBRO DE 2021).

Somos gratas às pessoas que cederam fotos de seu arquivo pessoal como, Tancredo Augusto Feitosa de Souza e João Henrique Nicola Gervásio, e a todos os perfis, páginas e similares que responderam às nossas solicitações.

## APRESENTAÇÃO

Este livro é fruto de um projeto de ensino concebido no contexto de Pandemia de Covid-19, que foi iniciado oficialmente no âmbito institucional do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO) em 18 de março de 2020. Nesse momento, nos deparamos repentinamente com o desenvolvimento de atividades de ensino de forma remota, solução idealizada para prevenir a disseminação do novo Coronavírus entre a comunidade acadêmica do IFRO, que lançou desafios imensuráveis no processo de ensino e aprendizagem tanto para docentes, quanto para discentes.



No núcleo de formação profissional do Curso Técnico em Agropecuária integrado ao Ensino Médio temos a disciplina de Solos (IFRO, 2018), que assim como as demais disciplinas profissionalizantes não possui livro didático, ficando a cargo do docente a seleção e/ou elaboração do material a ser utilizado. Infelizmente, existem poucos livros da área de Solos voltados aos Cursos Técnicos. Assim, os docentes necessitam lançar mão de uma vasta bibliografia de todas as subáreas da Ciência do Solo para compor seu referencial bibliográfico. E, em seguida, se deparam com a dificuldade de disponibilizar esse material aos discentes, devido ao alto custo de aquisição e/ou à impossibilidade de reproduzir e/ou disponibilizar o material no formato digital, devido à coerente lei de proteção de direitos autorais.

Esses, como outros problemas do processo de ensino e aprendizagem, foram amplificados durante o período de atividades remotas. Se por um lado ficamos menos ligados às bibliografias “formais”, por outro, uma gama de materiais foi disponibilizada nas redes sociais e em outras mídias das mais diversas áreas do conhecimento, dentre elas, da Ciência do Solo. Perfis de professores, sociedades científicas, universidades, grupos de pesquisa, dentre outros, foram criados com o intuito de divulgar o conhecimento científico de forma acessível, criativa, atrativa e dinâmica.

Visualizamos, portanto, a possibilidade de elaborar um material didático que associe conhecimento técnico-científico da área de Solos com os conteúdos disponíveis nas diferentes mídias e redes sociais, seguindo a sequência de conteúdos previstos no Plano de Disciplina de Solos do Projeto Político-Pedagógico do Curso Técnico em Agropecuária integrado ao Ensino Médio (IFRO, 2018).

Organizamos este material em capítulos, que correspondem às Unidades de conteúdos da disciplina de Solos. Logo, no início do capítulo, o usuário encontra os **Objetivos de aprendizagem**, relacionados às habilidades a serem desenvolvidas; em seguida tem-se a seção **Fique por dentro**, que contempla a introdução e os conceitos

básicos de cada Unidade; logo se encontra a seção **Para refletir**, que traz conteúdos extras, reflexões e informações relevantes; na sequência tem-se a seção **Estudando na rede**, que disponibiliza links para conteúdos disponíveis em redes sociais e outras mídias, que são relevantes para a aprendizagem na Unidade; e, por fim, a seção **Verifique sua aprendizagem**, que conta com questões para que o usuário reflita sobre o processo de aprendizagem e verifique se alcançou as habilidades propostas no início da Unidade.

O objetivo deste material foi aliar textos técnico-científicos com publicações disponíveis nas redes sociais e em outras mídias, além de recomendar outras fontes adequadas para os estudos da disciplina. Assim, tudo o que foi utilizado de outros autores e que está disponível na rede foi identificado e o respectivo link pode ser encontrado ao lado deste ícone: . Já o que ilustramos com criações próprias, não colocamos nenhuma referência e, no caso de reprodução, nossa obra deve ser referenciada. No momento da publicação deste livro todos os links estão acessíveis, entretanto não podemos garantir que assim permanecerão. Portanto, para garantir o acesso do leitor às publicações originais recomendadas na seção **Estudando na rede**, criamos uma pasta com todas as fontes utilizadas que pode ser acessada neste  link.

Ao final do livro adicionamos uma lista de datas comemorativas importantes para pensar no recurso solo, que podem ser utilizadas pela comunidade escolar para proposição de eventos, debates e atividades diversas.

Esperamos, com este material, contribuir para o processo de ensino e aprendizagem da disciplina de Solos, tanto para docentes quanto para discentes, no âmbito do IFRO e de outras instituições que trabalham com cursos técnicos na área de Ciências Agrárias.

**Bons estudos!**

## PREFÁCIO

A proposta de elaboração de livros em torno da disseminação do conhecimento do solo é sempre oportuna e necessária, por um lado pelo inestimável valor nos serviços ecossistêmicos que o solo exerce para manutenção da vida no planeta Terra, e por outro, pelo avanço devastador da degradação que se alastra, exigindo de nós, cientistas e educadores do solo, o debruçar nas atividades que alertem e sensibilizem a todos, sobretudo aqueles que se dedicam às Ciências Agrárias, para o cuidado com o solo.

O livro em pauta *Foco no solo: um guia didático e interativo para o ensino técnico* é um rico material para auxiliar nas atividades sobre solos em sala de aula, contribuindo de maneira muito eficiente com o entendimento deste dinâmico, complexo e fundamental componente da Natureza, ampliando horizontes de valorização e conservação. As autoras buscaram, acima de tudo, colaborar com o ensino do solo, ajudando os leitores ao interesse pelo surpreendente mundo sob nossos pés. Mas, certamente que este livro também foi pensado em agricultores, conselheiros agrícolas e extensionistas, uma vez que as autoras primam pela educação em solos em suas atividades.

*Foco no solo: um guia didático e interativo para o ensino técnico* é um verdadeiro compêndio para o conhecimento, manejo e conservação do solo, que fornece informações básicas, bem como, detalhes de práticas de melhoria do solo. Este livro destina-se a dar ao leitor uma apreciação técnica e holística da importância do solo e sugerir práticas ecologicamente corretas que ajudam a desenvolver e manter solos saudáveis para o bem viver das coletividades.

As lições são sequenciadas de modo que os tópicos foram construídos de forma harmônica, favorecendo a busca por informações para ampliar o entendimento. O livro segue a estrutura de unidades, como é feito nos materiais didáticos. A Unidade I é introdutória, apresentando a proposta e tratando da conceituação do solo no ambiente natural e humano. A Unidade II discorre sobre a gênese do solo, trazendo os fatores e processos de formação do solo, numa apresentação bastante didática. Na Unidade III as autoras descrevem as propriedades e processos dos solos em termos de pedologia, física do solo, química e biologia em páginas repletas de imagens que dinamizam o aprendizado. A Unidade IV concentra-se na fertilidade do solo. Na Unidade V são trabalhados os conceitos de morfologia, descrição e classificação dos solos e na Unidade VI são mostrados importantes dados sobre a degradação e a conservação dos solos.

A maneira como os conteúdos são apresentados, as lições, as imagens e as reflexões deste livro destinam-se a dar vida à compreensão dos estudantes sobre o solo,

sensibilizando e abrindo os olhos para o intrincado e maravilhoso sistema vivo sob nossos pés, de modo a inspirar a mudança de posturas, a participação no cuidado, proteção, regeneração e restauração dos solos, de modo a garantir um planeta saudável para as gerações de hoje e de amanhã.






Esta é uma feliz produção que o período grave, angustiante, difícil e inusitado da pandemia trouxe. Surgiu da reflexão durante o período das aulas remotas e do interesse e preocupação das autoras com o processo de ensino e aprendizagem, buscando contribuir com a formação de qualidade dos estudantes, ajudando na compreensão de que é uma responsabilidade de todos construir solos saudáveis por meio da educação ativa, contextualizada e transformadora.






Como educada em solos, acredito que buscar estratégias para despertar o interesse por conhecer mais sobre o solo é uma responsabilidade inadiável e uma necessidade cada vez mais presente. E é essa a proposta desse material, elaborado de forma criteriosa, didática, competente e empolgante, trazendo atividades que evidenciam a metodologia dialógica e fazendo importante link com o conhecimento do solo nas redes sociais e em outras mídias, estratégia que ajuda a evitar o tédio, estimulando a busca por mais informações.





Tomei um tom mais pessoal – e menos formal – minimizando o jargão técnico para tornar este prefácio mais compreensível para estudantes e não cientistas, sem comprometer a qualidade dos assuntos da Ciência do Solo aqui abordados. Saliento que um livro como este é uma valiosa contribuição na formação de estudantes dos cursos técnicos, tecnólogos e bacharelados das Ciências Agrárias, embora tenha um público global em expansão, e muitos leitores de outras áreas, conscientes de que somos simples ‘mordomos do solo’ e atentos à necessidade de conhecer mais para melhor cuidar deste grande organismo vivo que nos sustenta a vida – o solo.

Adriana de Fátima Meira Vital – Professora da UFCG  
Educadora em Solos – Projeto Solo na Escola/UFCG

## SUMÁRIO


Agradecimentos .....	4
Apresentação .....	5
Prefácio .....	7
<b>UNIDADE I.....</b>	<b>1</b>
O solo em seus diversos contextos .....	1
 Objetivos de aprendizagem.....	1
 Fique por dentro.....	1
O que é solo?.....	1
O solo como recurso natural .....	3
O solo como um sistema trifásico .....	4
O solo como sistema aberto.....	5
O solo como objeto de uso e de estudos.....	6
Uma breve história do Solo .....	8
 Para refletir.....	14
Estudando na rede  .....	14
 - Verifique sua aprendizagem .....	15
<b>UNIDADE II.....</b>	<b>16</b>
Formação do solo .....	16
 Objetivos de aprendizagem.....	16
 Fique por dentro.....	16
Intemperismo .....	16
Intemperismo físico .....	17
Intemperismo químico .....	19
Intemperismo biológico .....	24

Fatores de formação do solo .....	25
Material de origem.....	25
Minerais primários.....	28
Relevo.....	30
Clima.....	32
Organismos .....	33
Tempo .....	34
Processos pedogenéticos múltiplos .....	37
Processos pedogenéticos específicos .....	40
Gênese dos minerais secundários .....	43
 Para refletir.....	45
 Estudando na rede .....	46
 Verifique sua aprendizagem .....	47
<b>UNIDADE III.....</b>	<b>48</b>
Propriedades e processos do solo .....	48
 Objetivos de aprendizagem.....	48
 Fique por dentro.....	48
Propriedades e processos do solo .....	48
Propriedades e processos físicos do solo .....	48
Granulometria e Textura do solo.....	49
Observações .....	53
Mas por que determinamos a textura do solo?.....	53
Agregação e Estrutura do solo .....	54
Argila dispersa em água e Grau de floculação do solo .....	56
Densidade do solo .....	57
Porosidade do solo .....	61

Propriedades e processos químicos do solo .....	63
Cargas elétricas do solo .....	63
Capacidade de troca de íons .....	65
Acidez do solo.....	67
Bases do solo.....	71
Atividade de argila.....	72
Processos e propriedades biológicas do solo.....	73
Biota do solo.....	73
Rizosfera.....	74
Decomposição da matéria orgânica .....	75
Amonificação.....	77
Nitrificação.....	78
Desnitrificação.....	79
Promoção de crescimento de plantas.....	79
Fixação biológica de nitrogênio.....	80
Solubilização de fosfatos .....	84
Produção de fitormônios.....	85
Defesa da planta.....	86
Micorrizas .....	87
Tecnologias microbianas.....	90
 Para refletir.....	93
 Estudando na rede .....	94
 Verifique sua aprendizagem.....	95
<b>UNIDADE IV .....</b>	<b>96</b>
Fertilidade do solo.....	96
 Objetivos de aprendizagem.....	96



Fique por dentro.....	96
Princípios básicos da fertilidade do solo .....	96
Classificação dos elementos.....	97
Leis da fertilidade do solo.....	98
Mecanismos de contato íon-raiz .....	101
Absorção, transporte e redistribuição dos nutrientes .....	102
Dinâmica dos elementos no sistema solo planta .....	104
Nitrogênio (N) .....	104
Fósforo (P) .....	108
Potássio (K) .....	111
Cálcio (Ca).....	113
Magnésio (Mg).....	116
Enxofre (S) .....	118
Boro (B) .....	121
Molibdênio (Mo).....	124
Cloro (Cl) .....	125
Ferro (Fe).....	126
Manganês (Mn) .....	128
Cobre (Cu) .....	130
Zinco (Zn) .....	132
Níquel (Ni).....	134
Diagnóstico da fertilidade do solo.....	136
Amostragem e coleta de solos.....	136
Divisão da área de amostragem.....	137
Época de amostragem.....	137
Ferramentas e demais materiais.....	138
Localização e retirada das amostras.....	139
Identificação e envio das amostras.....	140
Métodos de análise de solo.....	141
Recepção e preparo da amostra.....	142

Acidez ativa.....	143
Acidez potencial .....	143
Fósforo disponível e potássio e sódio trocáveis.....	144
Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis.....	145
Micronutrientes.....	146
Matéria orgânica .....	146
Fósforo remanescente .....	146
Resultados calculados.....	147
<b>Interpretação e recomendação de corretivos e fertilizantes.....</b>	<b>147</b>
<b>Correção do solo e adubação.....</b>	<b>148</b>
<b>Correção da acidez superficial.....</b>	<b>150</b>
Determinação da necessidade de calagem.....	151
Forma e época de aplicação do calcário.....	153
<b>Correção da acidez subsuperficial.....</b>	<b>153</b>
Determinação da necessidade de gessagem.....	154
Época e forma de aplicação do gesso agrícola .....	155
<b>Adubação corretiva.....</b>	<b>156</b>
Fósforo (P).....	156
Potássio (K).....	160
Adubação corretiva em culturas perenes .....	161
<b>Adubação de manutenção .....</b>	<b>165</b>
Feijão .....	166
Soja.....	167
Milho.....	167
Sorgo .....	168
<b>Adubação de reposição.....</b>	<b>169</b>
<b>Adubação com micronutrientes.....</b>	<b>171</b>
<b>Adubação orgânica .....</b>	<b>174</b>
 <b>Para refletir.....</b>	<b>177</b>

Estudando na rede 	178
 Verifique sua aprendizagem	179
<b>UNIDADE V</b>	<b>180</b>
Descrição e classificação dos solos	180
 Objetivos de aprendizagem	180
 Fique por dentro	180
Descrição morfológica do solo	180
Seleção do local para a descrição do perfil	182
Preparo do perfil de solo	182
Descrição geral do ambiente	183
Sequência para exame morfológico do perfil	186
Profundidade e espessura	190
Transição entre horizontes e camadas	191
Cor	192
Textura	200
Consistência	204
Estrutura	207
Cerosidade	210
Porosidade	212
Raízes	215
Cimentação	216
Coesão	217
Nódulos e concreções minerais	217
Presença de carbonatos	218
Presença de manganês	219
Presença de minerais magnéticos	220
Sistema Brasileiro de Classificação de Solos	222

Ordens de solos brasileiros.....	224
Argissolos.....	224
Cambissolos.....	225
Chernossolos.....	226
Espodosolos.....	227
Gleissolos.....	228
Latosolos.....	229
Luvisolos.....	230
Neossolos.....	231
Nitossolos.....	233
Organossolos.....	234
Planossolos.....	235
Plintossolos.....	236
Vertissolos.....	237
Jogo de cartas baseado nas ordens de solos.....	239
Outras classes de importância agrícola.....	240



Para refletir.....	242
--------------------	-----



Estudando na rede.....	243
------------------------	-----



Verifique a sua aprendizagem.....	244
-----------------------------------	-----

## **UNIDADE VI..... 245**

Manejo e conservação do solo.....	245
-----------------------------------	-----



Objetivos de aprendizagem.....	245
--------------------------------	-----



Fique por dentro.....	245
-----------------------	-----

Processos de degradação do solo.....	245
--------------------------------------	-----

Compactação.....	246
------------------	-----

Erosão.....	247
-------------	-----

Erosão hídrica .....	247
Erosão eólica .....	249
Erosão antrópica .....	250
<b>Lixiviação .....</b>	<b>250</b>
<b>Acidificação .....</b>	<b>251</b>
<b>Salinização .....</b>	<b>252</b>
<b>Desertificação .....</b>	<b>253</b>
<b>Sistemas de preparo e manejo do solo .....</b>	<b>254</b>
Plantio convencional .....	254
Plantio direto .....	256
Cultivo mínimo .....	258
<b>Práticas de conservação do solo .....</b>	<b>258</b>
<b>Mecânicas .....</b>	<b>258</b>
Curvas de nível .....	259
Terraceamento .....	259
Barraginhas .....	260
Sulco-camalhão .....	261
Valetas ou canaletas .....	261
Cordões de pedras .....	262
Paliçadas (sacos de terra e/ou madeira) .....	262
Escadas de dissipação .....	263
Locação de estradas e caminhos rurais (de terra) .....	264
<b>Vegetativas .....</b>	<b>264</b>
Cobertura verde .....	265
Cobertura morta .....	265
Cordão vegetado .....	266
Plantio em faixas .....	267
Consórcio de culturas .....	267
Alternância de capina .....	268
Quebra ventos .....	268
<b>Edáficas .....</b>	<b>269</b>



Para refletir..... 269



Estudando na rede..... 270

**REFERÊNCIAS ..... 271**

**APÊNDICES ..... 276**

Datas comemorativas relevantes na área agrícola e ambiental..... 276

    Internacionais ..... 276

    Nacionais ..... 276

Outras datas comemorativas relevantes..... 277

    Internacionais ..... 277

    Nacionais ..... 277

**SOBRE AS AUTORAS ..... 278**

# UNIDADE I

## O SOLO EM SEUS DIVERSOS CONTEXTOS



### OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Ao final desta Unidade, o estudante deverá:

- definir solo e descrever as suas múltiplas funções;
- identificar a composição do solo; e
- distinguir o solo como um recurso natural tão importante para a manutenção da vida, quanto o ar e a água.



### FIQUE POR DENTRO

## 1. O QUE É SOLO?

O solo exerce inúmeras funções, portanto, defini-lo não é uma tarefa simples, depende muito do ponto de vista do usuário. Para um Pedólogo, através das interações dos fatores ambientais é formado um corpo tridimensional, que sofre mudanças contínuas e pode ser constantemente transformado, conhecido por Solo. Para um Engenheiro Civil, o solo é o suporte para edificações, rodovias e outras instalações. Para os microrganismos e plantas, o solo é sinônimo de abrigo e alimento.

De acordo com a última edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS):

O solo que classificamos é uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas (Santos et al., 2018).

Uma definição comum aos diversos ramos do conhecimento é que o termo solo (do latim *solum*: suporte, superfície, base) diz respeito à parte superior da crosta terrestre ou litosfera. É uma rocha alterada que consiste em partículas sólidas, minerais e orgânicas. A seguir vemos o conceito de solo para os seus diferentes usuários, confira!

**O que é solo?**

**Para o agricultor**  
 “O solo é fonte do meu alimento e da minha renda”

**Para o médico**  
 “No Solo crescem organismos importantes para a saúde do corpo humano”

**Para o engenheiro civil**  
 “O tipo de fundação depende do tipo de solo.”

**Para a arqueóloga**  
 “Ferramenta para se entender a cronologia dos artefatos encontrados”

**Para a Pedóloga**  
 “Corpo tridimensional formado na superfície terrestre, a partir das interações dos fatores ambientais agindo ao longo do tempo em determinado local. É composto de materiais minerais e orgânicos”

Os solos são organizados em seções aproximadamente paralelas chamadas de camadas ou horizontes

Diagrama das camadas do solo:

- Horizonte O
- Horizonte A
- Horizonte B
- Horizonte C
- Rocha Matriz

Processo: diferenciação

📍 @solosreferenciape

Os estudos sobre o solo, frequentemente, são voltados para a área rural, apesar de a minoria da população residir nessas áreas. Com o surgimento de problemas nas áreas urbanas veio a necessidade de estudos sobre esses “solos urbanos”, que carregam diversas definições e classificações, entretanto, na prática é semelhante aos demais. Lembrando que o termo “solo urbano”, não se refere a solos antrópicos, que por sua vez sofrem intensa ação humana, mas pode ser considerado uma subdivisão dos antrópicos. Os “solos urbanos” possuem alta concentração de metais pesados e se não estão cobertos por edificações, logo estarão.



O perfil do Instagram @geografiacompleta postou a imagem ao lado, com uma reflexão sobre os modos de produção e os espaços geográficos.

Podemos usar a imagem para refletir sobre as diferenças no uso e no impacto dos solos urbanos e rurais.

Ambos estão sob uso intenso, porém com diferentes intensidades e possibilidades de impacto ambiental!

📍 @geografiacompleta

## 1.1 O solo como recurso natural

A formação do solo ocorre por meio do intemperismo, que é o conjunto de processos mecânicos, químicos e biológicos que desintegram e decompõem as rochas, transformando o material e dando origem ao regolito, que passa a ser a matéria-prima dos solos e, ao ser submetido à ação do clima e organismos, em um determinado tipo de relevo, durante um longo espaço de tempo se transforma em solo. Assim, temos que considerar o solo como um recurso natural não renovável, pois, como vimos acima, o processo de formação é muito lento, podendo levar cerca de 400 anos para se formar um centímetro de solo.

O solo, por ser responsável pela produção da grande maioria dos alimentos, fornecer nutrientes às florestas e lavouras, regular ciclos biogeoquímicos, constituir reserva genética de biodiversidade, filtrar a água, ajudar a regular a temperatura e as emissões dos gases de efeito estufa e sequestrar carbono da atmosfera na forma de matéria orgânica, sem dúvidas, tem muita relevância para toda a humanidade. Mesmo sendo tão importante para a manutenção da vida no planeta na forma que conhecemos, o solo recebe menor atenção e preocupação no quesito preservação do que a água e o ar. Logo, os solos vêm sendo constantemente degradados de diversas formas, tais como erosão, desertificação e salinização.

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) publicou um esquema que mostra as múltiplas funções do solo, apresentado no Congresso Brasileiro de Ciência do Solo de 2015 e que está disponível na página da Embrapa. Podemos conferir a seguir

!



↳ Embrapa

## 1.2 O solo como um sistema trifásico

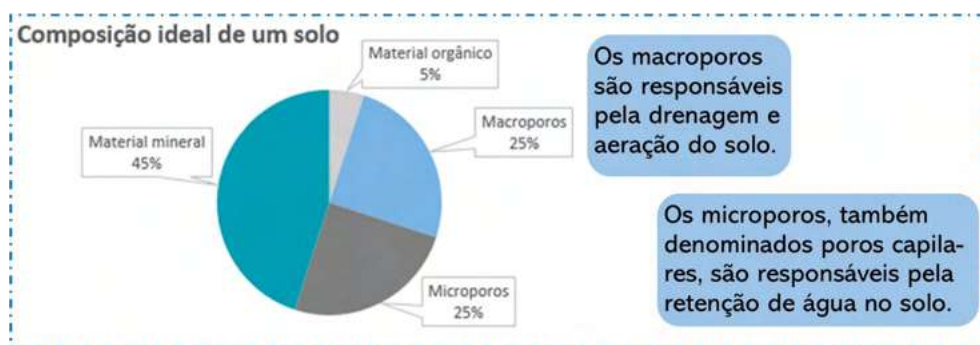
O solo é um sistema trifásico por ser constituído pelas frações sólida (material mineral e orgânico), líquida (água) e gasosa (ar). É variável a proporção de cada uma dessas frações no solo, de acordo com a sua natureza.

A fase sólida é constituída pela matéria mineral (inorgânica) acrescida da matéria orgânica na parte mais superficial do solo. Na fase sólida mineral, os componentes inorgânicos variam em tamanho e têm grande influência nas propriedades dos solos. É constituída de pequenos fragmentos de rochas e minerais de várias naturezas. Esses fragmentos são remanescentes de rochas maciças da qual se formaram os regolitos e por sua vez o solo, mediante intemperismo. Assim, quanto maior for o grau de intemperismo de um solo, mais transformada estará a fase mineral do solo.

Na fase sólida orgânica os componentes são caracterizados pelos restos de animais e vegetais que ficam em estágios diversos de decomposição e materiais que são sintetizados pela biota do solo. O conjunto de todos esses componentes é chamado de matéria orgânica do solo, que apesar de possuir uma mera participação quantitativa, exerce grande influência qualitativa nas características e propriedades dos solos como meio de crescimento de plantas.

A fase líquida do solo, a qual é representada pela água ou solução do solo, contém diversos íons que são muito importantes, pois possibilitam a nutrição das plantas e outros organismos do solo. A solução do solo ocupa parte do espaço poroso do solo, onde é retida em diferentes níveis, a depender do tamanho dos poros e das propriedades da fase sólida.

Por último, a fase gasosa, que é o ar do solo, ocupa o espaço poroso não ocupado pela fase líquida. O ar do solo tem composição diferente da atmosfera, contendo maior teor de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), devido à respiração das raízes das plantas e dos demais organismos do solo. Assim, a presença de um solo bem arejado é muito importante para a sua produtividade, pois as raízes das plantas necessitam do oxigênio para realizarem seus processos metabólicos. Além do oxigênio, a fase gasosa realiza o transporte do nitrogênio para dentro do solo, que é um elemento indispensável para o desenvolvimento das plantas.

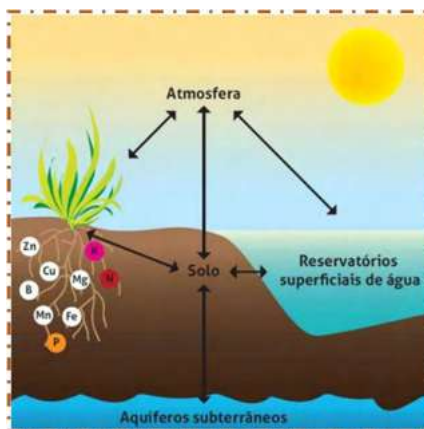


Como podemos observar na figura anterior, um solo com composição considerada ideal para o desenvolvimento das plantas deve ter 45% de material mineral, 5% de matéria orgânica, 25% de macroporos e 25% de microporos, para permitir o bom funcionamento químicos, físicos e físico-químicos do solo. Logo, além dessas características, um solo adequado ao cultivo agrícola deve ter boa profundidade para o armazenamento de água e crescimento das raízes; boas condições de fertilidade, com disponibilidade dos elementos essenciais às plantas e sem excesso de elementos tóxicos; textura média; estrutura que possa facilitar a movimentação de ar, água e raízes; presença de atividade biológica, friabilidade e boas condições de drenagem.

### 1.3 O solo como sistema aberto

O solo é um sistema que interage com a biosfera, litosfera, hidrosfera e atmosfera, portanto, considera-se que o solo é um sistema aberto por trocar energia e matéria em suas interações. A integração de um sistema é mais importante do que as partes isoladas e a

modificação de um componente altera os demais por ser um processo dinâmico. A evolução dos solos é contínua e em velocidades e vias diversas. Exemplos dessas interações são: transferências dos minerais do solo para as plantas, que posteriormente transferem estes compostos para o solo e para a água, que, por sua vez, passa pelo solo adicionando, transferindo e/ou removendo elementos.



O termo *aberto* leva à compreensão da continuidade dos fenômenos, da possibilidade de ganhos e perdas, tanto de matéria como de energia, da necessidade de atuação com cautela na adição de insumos e dos ciclos dos elementos químicos de modo contínuo na atmosfera-solo-hidrosfera. Por outro lado, sistema aberto significa possibilidades enormes de transferências de energia e matéria à atmosfera e hidrosfera. Parte de tudo o que for adicionado ao solo será transferida para outros sistemas. Solo como um sistema aberto deve ser manejado para minimizar as saídas de algo que seja importante para a manutenção de sua fertilidade. A manutenção do solo constantemente coberto por plantas vivas é a maneira mais inteligente de diminuir as transferências para outros ambientes. Fonte: Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas - UFSM

📍@solo.planta

Em um sistema aberto, retornar ao estado anterior não é possível, devido ao fato de que o fluxo de energia e matéria geram muitas reações e correlações de longo alcance entre as partículas, que afastam as suas trajetórias do equilíbrio, e, portanto, os processos são irreversíveis. Ter isso em mente é importante para os profissionais das Ciências Agrárias, pois tudo que adicionamos ou removemos do solo altera o estado inicial do solo, em maior ou menor intensidade.

#### 1.4 O solo como objeto de uso e de estudos

Desde que a espécie humana passou a ser sedentária e cultivar seus alimentos, passou a usar o solo. E com o tempo a conhecê-lo melhor. Logo, reconhecemos que havia solos diferentes, nos quais o desenvolvimento das plantas era distinto. Que havia espécies de plantas que se adaptavam melhor a determinado tipo de solo. Com isso, todas as comunidades em seu espaço de tempo tiveram algum tipo de classificação de solos.

Mais à frente, nos deparamos com a curiosidade científica e a necessidade de compreender as propriedades e processos que ocorrem no sistema solo planta, fazendo perguntas básicas, por exemplo, de que as plantas se alimentam? Com o avanço nos

estudos de química e de cultivo de plantas em soluções nutritivas, respondemos essa e outras perguntas e, com o aumento na intensidade de uso do solo, nos deparamos com os processos de degradação.

Atualmente, os estudos dos solos visam fornecer estratégias, técnicas e tecnologias para permitir o uso do solo, respeitando suas vulnerabilidades e recuperando as suas funções ecológicas e sistêmicas degradadas ao longo do tempo. Estamos falando, portanto, de uma longa trajetória, mais de 10.000 anos antes do presente, e que ainda não se finalizou, pois estamos constantemente usando e estudando os solos. A seguir, podemos conferir um resumo dessa história!

## Uma breve história do Solo

10.000 a.C.  
Sedentarismo  
Período Neolítico

Com a sedentarização dos grupos humanos, pôde-se observar e reconhecer os fenômenos naturais e explorar a natureza em benefício do grupo. Além disso, o primitivo pôde utilizar a terra, plantando e colhendo seus frutos.



384-322 a.C.  
Aristóteles

A planta se alimenta de húmus. Aristóteles afirmava que as plantas são como animais invertidos e mantêm a boca no chão. Para ele, os alimentos seriam previamente digeridos pela terra uma vez que os vegetais não apresentavam excreções visíveis como o fazem os animais.



482 a.C.  
Fundo Empédocles

Político e filósofo grego Empédocles, um dos grandes pensadores da época tinha a ideia de que o solo era para uso agrícola.



1787  
Sprengel

Publicou o primeiro livro sobre ciência do solo chamado *Bodenkunde*. Ele via o solo como uma massa de material composta de minerais, que continha os produtos da decomposição de animais e plantas.



5.000 a.C.  
Vazante do Nilo

O rio Nilo permitiu o desenvolvimento da civilização egípcia, visto que maior parte do território está localizado em regiões desérticas. Próximo ao rio, eles viviam da pesca e da agricultura (sobretudo cultivo de cereais) garantida pelas cheias do Nilo, que favoreciam a fertilização do solo.



372-287 a.C.  
Teofrasto

Recomenda aplicação de esterco. Foi o primeiro edafólogo a distinguir o solo da terra e suas camadas, diferenciou os tipos de solo como argiloso, arenoso, pedregoso, leve e compacto.



1778  
Sir Humphrey Davy

Davy, considerava que o solo é o resultado do processo de alteração das rochas e da decomposição da matéria orgânica.



1803-1873  
Justus von Liebig

"Pai da nutrição mineral de plantas" estabeleceu que os alimentos de todas as plantas verdes são as substâncias inorgânicas ou minerais.



1804

**Ferdinand de Saussure Sprengel**

Estabeleceu que: a planta obtinha C do CO<sub>2</sub> da atmosfera e energia da respiração; que o H e o O eram absorvidos junto com o C; que o aumento da matéria seca da planta era, principalmente, devido ao C, H e O absorvidos; que o solo era o provedor de minerais indispensáveis à vida da planta; e que o N era essencial às plantas.



1840

**Lei do mínimo**

Esta lei também foi criada pelo cientista e professor alemão Justus von Liebig, na qual diz "Sob condições de estado constante, o nutriente presente em menor quantidade (concentração próxima à mínima necessária) tende a ter efeito limitante sobre a planta".



1877

**Princípios da edafologia de Dokuchaev**

Vasili Dokuchaev foi um geógrafo russo proeminente, considerado o pai da ciência do solo. Como resultado de uma seca que a Ucrânia sofreu, ele saiu em uma expedição para observar e investigar o desempenho de diferentes tipos de solos. Ele descobriu que a vegetação e o clima estavam relacionados a diferentes tipos de solo.



1922

**Demonstração da essencialidade**

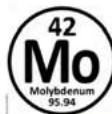
A essencialidade de zinco e boro (micronutrientes) às plantas foi demonstrada por Sommer e Lipman.



1939

**Demonstração da essencialidade**

A descoberta de que o molibdênio é essencial às plantas foi feita por Arnon e Stout. Esse elemento faz parte dos micronutrientes.



1941

**Hans Jenny**

Estabeleceu a seguinte equação para descrever o processo de formação do solo:

$$S = f(\text{cl, o, r, p, t...})$$

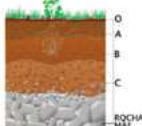
Em que: S = solo; cl = clima; o = organismos; r = relevo; p = material parental; e t = tempo.



1810

**Senft Edaphology**

Senft descreveu o terreno no modelo de perfis geológicos, observando a presença de horizontes.



1860-1865

**Demonstração da essencialidade**

No ano de 1860 Ville descobriu a essencialidade do elemento P. Depois foi a vez de Julius von Sachs e Wilhelm Knop de demonstrarem que os elementos S, K, Ca, Mg e Fe são essenciais para as plantas. Esses elementos formam os macronutrientes (menos Fe) e esta classificação é utilizada sob o ponto de vista da nutrição mineral de plantas e da fertilidade do solo.



1922

**Demonstração da essencialidade**

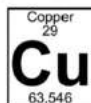
A descoberta de que o manganês (elemento que faz parte dos micronutrientes) é essencial às plantas foi feita por McHargue.



1931

**Demonstração da essencialidade**

A descoberta de que o cobre é essencial foi feita por Lipman e Mac Kinnon. Esse elemento faz parte dos micronutrientes.



**Década de 1940**

**José Setzer**

Os solos brasileiros eram totalmente desconhecidos, havia apenas alguns trabalhos, como o de Setzer, que se baseava na natureza petrográfica do material de origem.



**1954**  
**Demonstração de essencialidade**  
A descoberta de que o cloro é essencial às plantas foi feita por Broyer e colaboradores. Esse elemento faz parte dos micronutrientes.



**1999**  
**1ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**  
Resultado da trajetória da nacionalização e classificação de solos efetivada pelas quatro aproximações elaboradas de 1980 a 1997. Na 1ª edição do SiBCS, foram mantidas as 14 ordens, com mudança de nomenclatura da ordem dos Podzolissolos, que passou a ser chamada de Argissolos.



**2013**  
**3ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**  
Na 3ª edição, são apresentados princípios e conceitos básicos e a estrutura do sistema, com base no conhecimento gerado no Brasil e no exterior.



**2018**  
**5ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**  
O SiBCS continua a ser um sistema hierárquico de classificação e busca consolidar a sistematização taxonômica, de modo que expresse o conhecimento para a discriminação de classes de solos identificadas no país. As alterações realizadas nessa edição em relação à anterior compreendem desde mudanças nos critérios e conceitos de horizontes até a incorporação de classes de solos em níveis categóricos de subordem, grande grupo, subgrupo e família. As informações levantadas nas Reuniões de Correlação e Classificação de Solos realizadas na Amazônia influenciaram essa edição.



**1947**  
**Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**  
Os levantamentos de solos no Brasil tomaram grande impulso. Foi reconhecida a necessidade da criação de uma Sociedade Interamericana de Ciência do Solo, cuja consolidação deveria ocorrer com a criação das Sociedades Nacionais de Ciência do Solo.



**1970**  
**Sistema de Plantio Direto**  
O sistema de plantio direto surgiu frente à necessidade de tornar mais sustentável a produção agrícola, minimizando os custos com insumos e otimizando o aproveitamento da área de plantio.



**2006**  
**2ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**  
Na 2ª edição, constam somente 13 classes de 1º nível categórico (ordens) em consequência da extinção da ordem Alissolos, de acordo com proposta de usuários do sistema, membros do Comitê Assessor Nacional e de Comitês Regionais, discutida e aprovada pelo Comitê Executivo.



**2014**  
**4ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**  
Na 4ª edição, foram atualizados alguns princípios, tais como Métodos de análises de solos adotados pela Embrapa Solos, Ordenação de legenda de identificação de solos, Padronização das cores das classes de 1º e 2º níveis categóricos para uso em mapas de solos. Adicionalmente, foram inseridos os seguintes anexos: classes de profundidade dos solos, classes de reação dos solos e tipos de terrenos. Essa edição foi disponibilizada em formato e-book.

**2013 ...**  
**Construção e formalização do PronaSolos**

A construção do PronaSolos, um programa de estado, começou em 2013, quando o mundo despertava para a importância da ciência do solo para a segurança alimentar. Nas próximas três décadas o programa mobilizará dezenas de instituições parceiras na investigação, documentação e interpretação dos dados de solos brasileiros.



Com essa trajetória, o estudo do solo passou a integrar uma subárea do conhecimento chamada de Ciência do Solo. Seu objeto de estudo é o *pedom*, que consiste em uma seção

de solo em três dimensões suficientes para o estudo dos horizontes ou das camadas. A visão em duas dimensões do *pedom* denomina-se perfil de solo, como vemos na figura abaixo:

O perfil do solo compreende um conjunto de várias seções horizontais, paralelas, diferentes em cor, textura, composição etc., denominadas de horizontes. Observe na figura um perfil de solo, com seus diferentes horizontes, sendo:

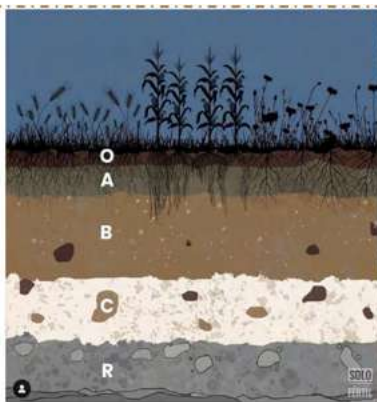
Horizonte O: Horizonte orgânico, formado pela matéria orgânica em vias de decomposição, por isso possui a coloração mais escura.

Horizonte A: Horizonte superficial com mistura de matéria orgânica e fração mineral, com bastante influência do clima e alta atividade biológica.

Horizonte B: Horizonte caracterizado, predominantemente, por uma coloração mais clara em relação ao horizonte superficial, devido a menor concentração de matéria orgânica. Geralmente apresenta acumulação de argilas procedentes dos horizontes superiores e também de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

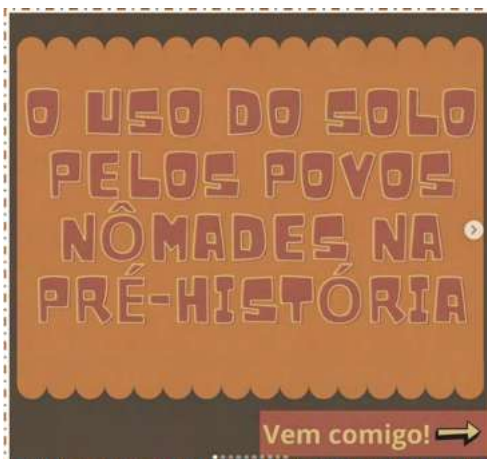
Horizonte C: Camada de mistura de solo pouco denso com rocha-matriz pouco alterada.

R: Rocha matriz sem alteração.



👉 @solo.fertil

Com as postagens a seguir, podemos aprender um pouco mais sobre o uso do solo pelos povos nômades e o impacto da transição para o sedentarismo. Confira!



@solosreferenciape

ISSO QUER DIZER QUE NÃO TINHAM HABITAÇÕES FIXAS E, CONSTANTEMENTE, SE DESLOCAVAM EM BUSCA DE ALIMENTOS E ABRIGO. ERAM CAÇADORES-COLETORES PORQUE VIVIAM DA CAÇA DE ANIMAIS E DA COLETA DE FRUTOS.



@solosreferenciape

MUDAR DE UM LUGAR PARA OUTRO GARANTIA A SOBREVIVÊNCIA DESSES POVOS QUE DEPENDIAM DA DISPONIBILIDADE DE ALIMENTOS DO LOCAL



@solosreferenciape

OS REGISTROS DA ÉPOCA NÃO INDICAM O USO E O MANEJO SISTEMÁTICOS DO SOLO PARA A PRODUÇÃO DE ALIMENTOS

ELES DEPENDIAM INDIRETAMENTE DO SOLO COMO MEIO PARA AS PLANTAS QUE CRESCIAM NATURALMENTE NO AMBIENTE. NO ENTANTO, NÃO GERARAM GRANDES ALTERAÇÕES NOS SOLOS.



@solosreferenciape

ESTUDOS INDICAM QUE OS NÔMADES VIAM O SOLO COMO UM RECURSO SECUNDÁRIO, ALÉM DE SER USADO COMO PIGMENTO EM PINTURAS RUPESTRES



@solosreferenciape

O USO E A PERCEÇÃO DO SOLO PELOS HUMANOS COMENTE IRIA MUDAR COM O DOMÍNIO GRADATIVO DAS TÉCNICAS DE CULTIVO DE PLANTAS E DOMESTICAÇÃO DE ANIMAIS PELOS POVOS, NO PERÍODO APROXIMADO ENTRE 12.000 E 10.000 ANOS ATRAS.



@solosreferenciape

SEM DÚVIDA, FORAM FATORES QUE CONTRIBUÍRAM PARA A TRANSIÇÃO DO MODO DE VIDA NÔMADE PARA A FIXAÇÃO DO HOMEM À TERRA, CULMINANDO NA CHAMADA REVOLUÇÃO NEOLÍTICA



📍 @solosreferenciape

## A SEDENTARIZAÇÃO DOS GRUPOS HUMANOS E A MUDANÇA NO USO DO SOLO



Imagem: Dornier do Professor, 2009

Registros históricos apontam que, por volta de 12.000-10.000 anos atrás, dava-se início a chamada Revolução Neolítica.



Também conhecida como Revolução Agrícola devido ao surgimento da agricultura nesse período.

A Revolução Neolítica não ocorreu de forma rápida. Foi um processo lento que ocorreu em diferentes locais do mundo.



É considerada uma transição do modo de vida nômade, baseado na caça e coleta, para um modo de vida sedentário (sedentarização) e agrário, ou seja, fixo à terra e fundamentado na agricultura.

O domínio gradativo das técnicas de cultivo de plantas, a domesticação dos animais, as mudanças climáticas e a pressão populacional foram fatores que contribuíram para a sedentarização dos grupos humanos nesse período.

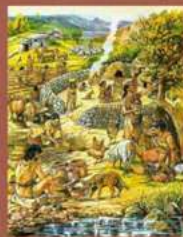


Imagem: Colligo Vets, 2012

A partir do cultivo de espécies vegetais e da criação de animais, houve uma mudança no uso do solo pelos grupos humanos.

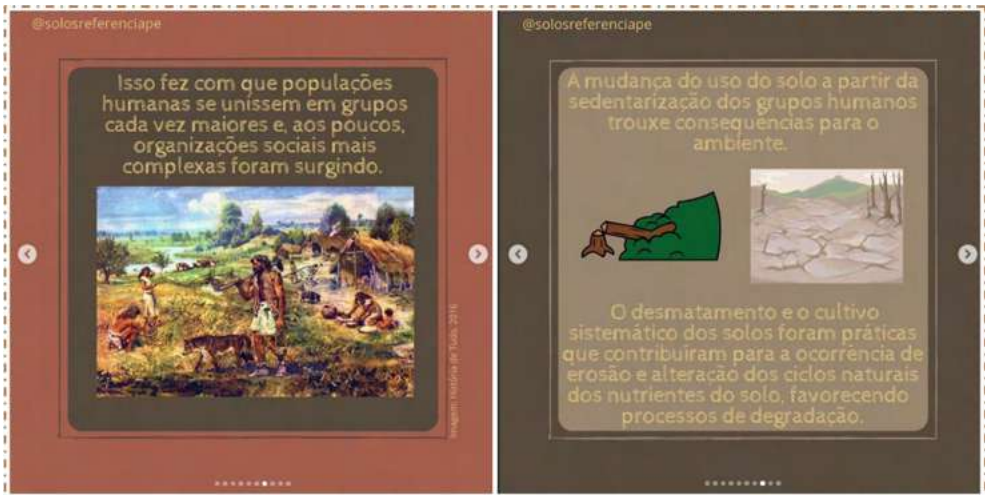


Antes, os nômades caçavam e coletavam o que o meio produzia naturalmente. Em situações de escassez, migravam para outros locais; já os povos sedentários dependiam diretamente do solo, produzindo de acordo com a disponibilidade de solos férteis e espécies vegetais da região.

Logo as noções de agricultura começaram a ser difundidas e um modo de vida mais estável foi sendo consolidado.



Os humanos começaram a se estabelecer, delimitar seu espaço para viver e cultivar, construir ferramentas mais eficazes para explorar o ambiente, além de armazenar sementes e alimentos para garantir comida nos períodos de maior escassez.



👉 @solosreferenciape



## PARA REFLETIR

O solo é um recurso natural de extrema importância para a manutenção da vida no planeta. Esse recurso demora muito tempo para ser formado, milhões de anos. O ser humano usa o solo desde que passou a desenvolver a agricultura. Assim, a nossa geração deve pensar e usar o solo como um recurso não renovável, pois os solos que degradamos hoje não se recuperarão facilmente para as gerações futuras. Propomos então, que você pense nos solos da sua região! Você vê sinais de erosões no solo? Você vê sedimentos nos rios? Você sabe se são usados muitos agrotóxicos nos cultivos de sua região? Você vê pastagens muito secas e solos descobertos na época da seca? Todos esses sinais mostram que não estamos cuidando bem desse recurso natural tão valioso!

## ESTUDANDO NA REDE

Se tiver oportunidade, assista o documentário *Kiss the Ground*. Aqui você pode conferir o trailer!

👉 Kiss the Ground Film Trailer (2020)

### Confira esses vídeos sobre o tema desta Unidade!

👉 Você sabe como um solo é formado?

👉 Vamos falar sobre Solos

👉 Conhecendo o Solo

- 👉 Aprenda mais sobre Solos
- 👉 Solo como Sistema trifásico
- 👉 História da Ciência do Solo

**Acesse também essas publicações do Instagram!**

- 👉 Constituição do solo
- 👉 O que é Qualidade do Solo?
- 👉 Compactação
- 👉 Erosão
- 👉 Degradação do Solo
- 👉 Encrostamento Superficial
- 👉 Desertificação
- 👉 Arenização
- 👉 Salinização
- 👉 O solo e a revelação agrícola

**Você também pode aprender sobre o solo jogando! Confira!**

- 👉 Jogos funções do solo



**VERIFIQUE SUA APRENDIZAGEM**

1. Você é capaz de formular um conceito de solo?
2. Você distingue as diferenças entre solo urbano e solo rural?
3. Você identifica a composição de um solo?
4. Você reconhece as múltiplas funções do solo?
5. Você identifica o solo como um recurso natural não renovável? E consegue justificar sua resposta?

## UNIDADE II

### FORMAÇÃO DO SOLO



#### OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Ao final desta Unidade, o estudante deverá:

- distinguir os processos de intemperismo físico, químico e biológico;
- interpretar o solo como produto de um processo de formação;
- identificar a atuação de cada fator na formação do solo; e
- correlacionar os processos pedogenéticos múltiplos e específicos.



#### FIQUE POR DENTRO

### 1. INTEMPERISMO

Processo de desagregação e transformação das rochas, por meio de reações físicas, químicas e biológicas, que ocorrem de forma simultânea. Ocorre, portanto, nas rochas da superfície terrestre por meio da ação dos agentes intempéricos, que são as variações de temperatura, chuva, vento, umidade etc.

**Intemperismo**

O intemperismo, também conhecido como meteorização, consiste na alteração física e química das rochas e de seus minerais. É um importante agente no processo de formação de solos e modelador do relevo.

Existem três tipos de intemperismo: o físico, o químico e o biológico.

**Tipos de Intemperismo**

Químico

Físico

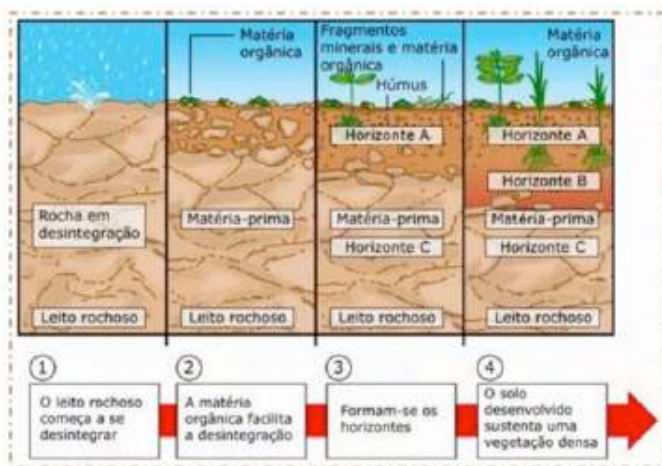
Biológico

Habitamos a superfície da Terra e dependemos, para viver, dos materiais disponíveis. Estes, em sua maior parte, são produto das transformações que a crosta terrestre sofre na interação com a atmosfera, a hidrosfera e a biosfera, ou seja, são produtos do intemperismo...

@pibid.geografia.iff

Como vimos na figura anterior, o intemperismo pode ser considerado um fator tanto geológico, quanto pedológico, pois gera os sedimentos solúveis e sólidos, que

posteriormente formarão as rochas sedimentares, e atua na gênese de solos com a decomposição e degradação das rochas que, posteriormente sofrerão a ação dos fatores de formação do solo.



Na figura à esquerda podemos observar um esquema associando a ação do intemperismo com a formação dos horizontes do solo.

👉 O espaço da geografia

### 1.1 Intemperismo físico

Pode ser observado em qualquer clima e ambiente. Nesse processo ocorre a desintegração das rochas, alterando sua estrutura física, por processos mecânicos e termais. Assim, uma rocha pode ser constantemente subdividida até chegar às frações de tamanho areia (0,05 a 2,0 mm) e silte (0,002 a 0,05 mm). Podemos visualizar os diferentes processos de intemperismo físico nas figuras abaixo:



**Alívio de pressão** - ocorre quando a rocha é exposta à superfície e, conseqüentemente, acontece a liberação da pressão a qual ela estava sujeita. Isso pode causar a expansão da massa rochosa e posterior fragmentação.

👉 Dinâmica Geológica



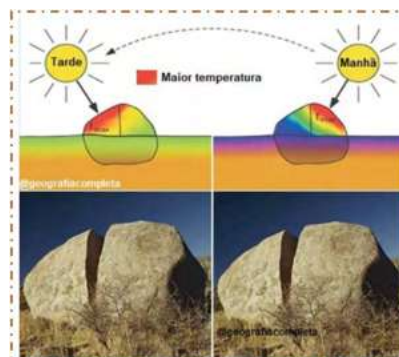
A ação mecânica da água pode atuar de duas formas: 1) alternância de períodos secos e úmidos, que origina aumentos e retrações do volume das rochas, gerando tensões, que resultam em fraturas; 2) ação da água da chuva sobre as rochas, que contribui para a sua meteorização. As imagens acima são de um vídeo, que mostra a ação mecânica da água sobre uma rocha por diferentes períodos.

👉 Professor de física Confira também esse 👉 meme relacionado à ação mecânica da água!

Crioclastia - consiste na ruptura das rochas devido ao congelamento da água. A água acumulada nas fraturas das rochas, sob temperaturas  $\leq 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  passa do estado líquido para o estado sólido, o que pode gerar pressão suficiente para dissociar rochas ou originar novas fissuras, já que o gelo ocupa um espaço 10% maior que a água no estado líquido. Assim, rochas porosas e com muitas fissuras desagregam-se com facilidade nas regiões que possuem estações do ano muito frias. Como podemos ver na figura ao lado!

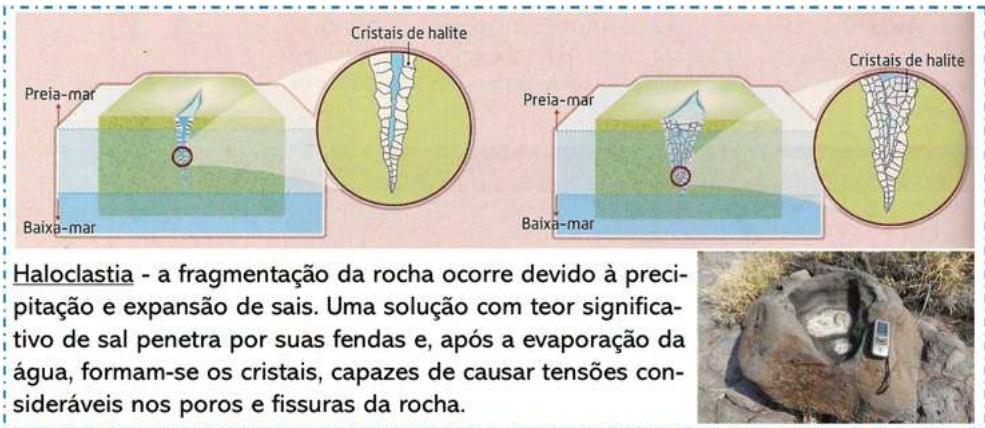


👉 @geografiacompleta



Termoclastia - processo no qual ocorrem fraturas nas rochas, devido ao seu esfriamento durante a noite e ao seu aquecimento durante o dia. Isso ocorre em consequência de os minerais que compõem as rochas, possuírem variados coeficientes de dilatação, podendo enfraquecer as ligações entre os minerais e ocasionar as rachaduras com as expansões e contrações em diferentes taxas e em diferentes direções. Em regiões que possuem alto gradiente de temperatura entre o dia e a noite, a termoclastia é bastante intensa.

👉 @geografiacompleta



📍 Dinâmica Geológica 📍 Geophoto



📍 @geografiacompleta

## 1.2 Intemperismo químico

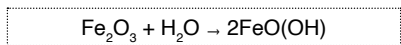
Consiste na alteração dos minerais primários que compõem as rochas, através de reações químicas, transformando-os em minerais secundários. Se no intemperismo físico, as transformações ocorrem até chegar às frações de tamanho areia (0,05 a 2,0 mm) e silte (0,002 a 0,05 mm), no intemperismo químico as alterações resultam em partículas da fração argila (< 0,002 mm).

A água é o principal agente do intemperismo químico, por ser um solvente universal, acaba participando de várias reações. A água chega ao solo na forma de chuva, atua nas transformações dos minerais e remove do solo os elementos solubilizados, carregando-os para o lençol freático, riachos e rios até que cheguem aos oceanos. Devemos lembrar que o solo é um sistema aberto, como vimos na Unidade I.

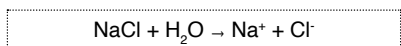
A temperatura também é um agente intempérico importante no intemperismo químico, pois atua na aceleração das reações químicas. Segundo a regra de Van't Hoff, com a elevação de cada 10 °C, as reações não instantâneas têm sua velocidade dobrada. Portanto, em regiões quentes o intemperismo químico ocorre mais rápido do que em regiões frias.

Os principais processos do intemperismo químico são hidratação, dissolução, hidrólise, acidólise, oxidação e redução.

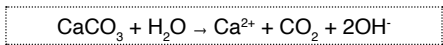
O processo de hidratação consiste na incorporação de moléculas de água na estrutura do mineral, sem causar alteração. Podemos tomar como exemplo o mineral anidrita (CaSO<sub>4</sub>), que ao ser hidratado torna-se a gipsita (CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), também conhecida como gesso. Essa reação é reversível e, portanto, a gipsita pode ser desidratada em períodos mais secos, retornando a anidrita. Outro exemplo é o da hematita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), que é um óxido de ferro, que pode passar a hidróxido, transformando-se em goethita [FeO(OH)], como mostrado na reação abaixo.



A dissolução é uma importante reação para minerais altamente solúveis como exemplo, a halita (NaCl), que é o mesmo mineral que usamos como sal de cozinha. Quando a halita entra em contato com a água ocorre a dissolução, como representado na reação abaixo:



A gipsita também pode ser dissolvida com o aumento progressivo da umidade. Situação similar ocorre com os carbonatos, por exemplo, a calcita (CaCO<sub>3</sub>), a magnesita (MgCO<sub>3</sub>) e a dolomita [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] podem ser dissolvidas em ambientes úmidos, como podemos ver na seguinte equação geral:



Podemos relacionar a estabilidade do mineral presente no solo com o tipo de clima que se encontra. Em regiões áridas podemos encontrar minerais com elevado grau de solubilidade, como a halita, silvita, gipsita e os carbonatos, pois falta água no ambiente para dissolvê-los. Já em regiões úmidas, encontramos com maior frequência minerais com baixo grau de solubilidade, como o quartzo e a gibbsita, pois os minerais mais solúveis já foram dissolvidos nesses ambientes. No quadro a seguir podemos visualizar os coeficientes de solubilidade de diferentes minerais.

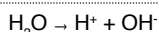
Reações de dissociação e solubilidades de alguns minerais que dissolvem congruentemente em água a 25 °C e 1 bar de pressão total

Mineral	Reação de dissociação	Solubilidade (mg/L)
Halita	$\text{NaCl} = \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$	360.000
Silvita	$\text{KCl} = \text{K}^+ + \text{Cl}^-$	264.000
Gipsita	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$	2.100
Calcita	$\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	500*
Dolomita	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$	480*
Fluorita	$\text{CaF}_2 = \text{Ca}^{2+} + 2\text{F}^-$	160
Sílica amorfa	$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Si}(\text{OH})_4$	120
Hidroxiapatita	$\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3 = 5\text{Ca}^{2+} + 3\text{PO}_4^{3-} + \text{OH}^-$	30
Quartzo	$\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Si}(\text{OH})_4$	12
Gibbsita	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}^{3+} + 6\text{OH}^-$	0,001

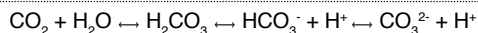
\* Pressão Parcial de  $\text{CO}_2 = 10^{-1}$  bar.

Adaptado de Freeze e Cherry (1979).

A hidrólise, também chamada de quebra pela água, é uma reação química entre íons  $\text{H}^+$  (oriundos da dissociação da água) e cátions do mineral. Portanto, a primeira reação é a própria dissociação da molécula de água, como podemos visualizar a seguir:



Outra reação importante, nesse contexto, é a dissolução do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) na água, que também gera íons  $\text{H}^+$ , como podemos ver na sequência:



A acidez da água (íons  $\text{H}^+$ ) reage com a estrutura dos minerais, rompendo-a e liberando Si e Al na fase líquida. A formação dos minerais secundários se dá pela recombinação dos elementos liberados pela hidrólise dos minerais primários, conforme a figura a seguir. Essa reação está presente em 95% da crosta terrestre por ocorrer em silicatos e carbonatos.

Quais são esses novos minerais??

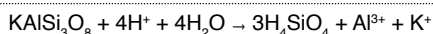
2

O intemperismo químico afeta principalmente os minerais mais fáceis de serem intemperizados, por exemplo os feldspatos, que por meio de reações químicas são transformados em argilominerais.

Na explicação ao lado vemos a hidrólise de um mineral primário, chamado feldspato potássico ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), que libera os elementos para a solução. Esses elementos se recombina formando o mineral secundário caulinita [ $\text{H}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ ], a sílica amorfa [ $\text{Si}(\text{OH})_4$ ] e os íons bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) e potássio ( $\text{K}^+$ ), que, por sua vez podem sofrer novas reações com outros elementos.

👉 @labped.unicamp

A acidólise é um processo similar à hidrólise, porém a água é bastante acidificada, atingindo  $\text{pH} < 5,0$ . É mais comum em regiões frias, nas quais a atividade microbiana é baixa e a decomposição da matéria orgânica é incompleta, formando-se ácidos orgânicos que além de reduzirem o  $\text{pH}$  das águas podem complexar metais, como o ferro e o alumínio dos minerais primários e secundários, acelerando a desintegração da estrutura do mineral. O processo de acidólise é dividido em parcial ( $\text{pH}$  de 3,0 a 5,0) e total ( $\text{pH} < 3$ ). Na reação abaixo, podemos ver a reação de acidólise total de um feldspato potássico:

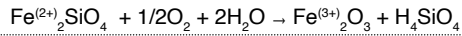


Em condições extremas, como a de acidólise total, apenas os minerais primários mais resistentes como o quartzo resistem ao intemperismo, sendo formados solos arenosos e pobres em fertilidade. Na acidólise parcial, a remoção do Al é apenas parcial, podendo-se conservar outros minerais.

A oxidação e a redução são processos importantes para minerais que contêm ferro, manganês e enxofre, pois esses elementos possuem valência variável e quando reagem com o oxigênio sofrem mudança no seu estado de oxidação. A reação de oxidação provoca a desestabilização da estrutura cristalina do mineral, afetando geralmente rochas compostas por minerais de coloração escura, chamados de ferromagnesianos, como anfíbios, piroxênios e olivinas. Esses minerais contêm ferro ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), que se oxida em ferro férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ), conforme podemos ver na equação simplificada, que demonstra as reações de oxidação e hidrólise de um piroxênio, formando hidróxido de ferro (goethita) e sílica:



De forma similar podemos visualizar a equação simplificada das reações de oxidação e hidrólise de uma olivina, formando óxido de ferro (hematita) e sílica:



Nesta imagem vemos um fragmento de rocha composta por minerais ferromagnesianos, sofrendo o processo de oxidação, deixando como marca morfológica a mudança de coloração, similar ao que ocorre na formação da ferrugem. No canto superior, à esquerda, vemos agregados de solo vermelho escuro, originados desta rocha. Essa coloração se deve ao alto conteúdo de hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) no solo.

Foto Stella C. G. Matoso (2015)

A redução é o processo inverso à oxidação, portanto, a substância ou elemento reduzido perde oxigênio, ganha elétrons ou ganha hidrogênio. Essa reação está relacionada a várias transformações no solo. No âmbito do intemperismo, podemos associar principalmente aos oxihidróxidos de ferro, que quando reduzidos perdem oxigênio e ganham elétrons, passando de  $\text{Fe}^{3+}$  para  $\text{Fe}^{2+}$ . Isso ocorre, geralmente, em ambientes alagados, também chamados redox e tem dois efeitos importantes: 1) a redução do ferro torna o solo acinzentado, demonstrando a ausência da hematita e da goethita, que dão coloração vermelha e amarela aos solos, respectivamente; 2) o ferro se torna móvel no solo e, portanto, se movimenta junto ao fluxo da água quando o solo está alagado, e quando atinge micros sítios aeróbios pode se oxidar novamente, formando nódulos vermelhos e/ou amarelos que originam a coloração variegada no perfil. Situação similar ocorre com os óxidos de manganês, que quando formam nódulos, esses apresentam cor escura.



À esquerda, vemos um solo de uma área que passa grande parte do ano alagada e, portanto o Fe se encontra na forma reduzida, dando coloração acinzentada ao solo. Vemos também pequenos pontos escuros que são concreções de óxidos de manganês. À direita, na parte inferior do perfil, vemos a coloração variegada, formada por repetições de ciclos de umedecimento e secagem do solo.



### 1.3 Intemperismo biológico

O processo de decomposição e desagregação das rochas se dá pela atividade de organismos vivos, variando de bactérias e fungos até plantas de grande porte. A ação desses organismos aumenta a efetividade dos processos químicos e físicos. A acidificação da água devido à dissolução  $\text{CO}_2$ , liberado pela respiração dos organismos do solo, intensifica a reação da hidrólise. Os organismos e plantas produzem ácidos orgânicos, que também intensificam o intemperismo químico.

A movimentação dos componentes do solo pelos organismos é chamada de bioturbação e resulta na homogeneização dos perfis. Também pode trazer benefícios, como a incorporação da matéria orgânica, formada na superfície do solo e constantemente carregada para dentro dele por esses organismos.



À direita, vemos os túneis que as minhocas constroem no solo. Podemos observar que não há compactação nessa amostra e também que esse solo apresenta coloração escura, indicando boas condições de fertilidade.



A imagem acima ilustra algumas ações dos organismos no solo.

👉 albufeira

👉 @solo.fertil

As plantas têm ação no intemperismo biológico físico, como vimos quando tratamos do intemperismo físico. As raízes ao entrarem pelas fendas das rochas, vão desestruturando-as até que as rochas se partam por completo, em alguns casos em que as plantas são de grande porte, alterando sua estrutura física.

## 2 . FATORES DE FORMAÇÃO DO SOLO

Como vimos até o momento o processo de formação do solo, também chamado pedogênese, se dá a partir da intemperização dos minerais das rochas e do solo. Podemos observar que esse processo envolve alguns aspectos, como a própria rocha, a presença de água, a temperatura ambiente etc. Assim, existem fatores que governam o processo de formação do solo, que podem ser classificados em ativos e passivos. Os fatores ativos promovem modificações e ações, sendo eles o clima e os organismos. Já o relevo, tempo e material de origem são considerados fatores passivos, pois sofrem influência dos fatores ativos. Quando te perguntarem como o solo é formado, lembre-se desta imagem.



### 2.1 Material de origem

O material de origem corresponde ao estado inicial do sistema do solo ou pode ser ainda definido como estado do sistema solo ao tempo zero de sua formação. De tal maneira pode-se dizer que o termo “material de origem” é o material do qual o atual perfil do solo foi derivado. Em certa profundidade abaixo de um solo encontra-se a rocha inalterada pelo intemperismo, levando a hipótese de que o mesmo tipo de rocha existia no espaço ocupado pelo perfil do solo, ou seja, o material de origem era similar à rocha encoberta.

O fator material de origem pode influenciar em diversos atributos e pode ser dividido em dois grandes grupos: as rochas e os sedimentos. As rochas influenciam nos atributos do solo e possuem características como a composição química e mineralógica, cor e textura.

As rochas intemperizadas e erodidas, formam os sedimentos e dão origem aos solos existentes, influenciando na cor, textura, composição química e mineralógica e fertilidade natural. Os sedimentos podem também ter constituição orgânica e levar à formação dos Organossolos.

Basicamente há três tipos de rochas na natureza. As *ígneas ou magmáticas*, cuja origem está relacionada com a atividade vulcânica e, portanto, trata-se de lava resfriada; as sedimentares que são resultado da deposição e cimentação de fragmentos de outros tipos de rocha, cuja origem é derivada de alguma forma de intemperismo; e as metamórficas, que surgem pela mudança na forma de algum dos outros dois tipos de rocha, devido à ação de novas condições de pressão e temperatura.

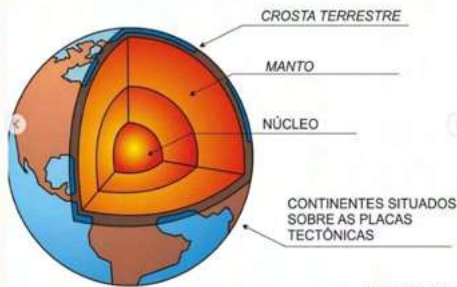
O intemperismo atuando sobre esse material produzirá solos de diferentes características. Porém, mesmo para rochas de mesma origem é possível obter solos diferentes, em função dos processos pedogenéticos (que veremos mais adiante) no decorrer do tempo.

No estado de Rondônia temos solos formados a partir dos três tipos de rochas. Vamos discutir brevemente sobre as principais rochas do estado, mas se você quiser conhecer mais sobre a geologia e os recursos minerais recomendamos a consulta ao livro “Geodiversidade do Estado de Rondônia”, disponível para download [↗](#).

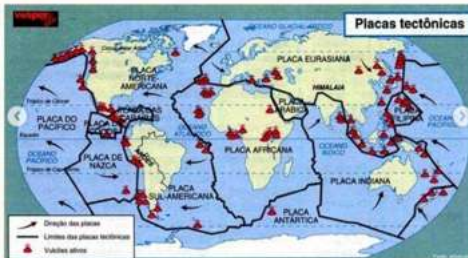
Vamos compreender, nas figuras a seguir, o que vem antes do solo!

Estas são as camadas da Terra.

O manto é também chamado de MAGMA e é formado por rochas ricas em silício, ferro e magnésio, que se encontram como materiais fundidos e sólidos.



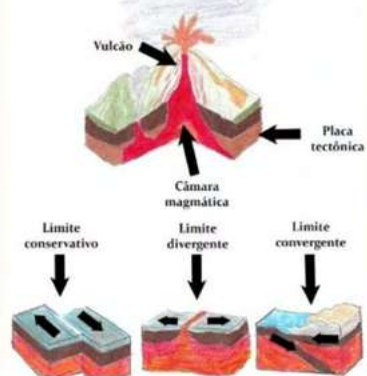
É comum encontrar vulcões nestes pontos de encontro das placas. Cadeias montanhosas como a Cordilheira dos Andes e a do Himalaia também são formadas nestes limites.



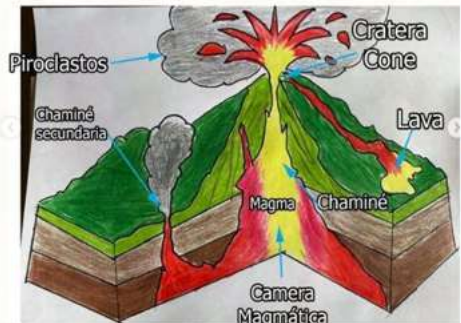
A lava é o próprio manto (magma), mas a chamamos assim quando ela chega à superfície e este líquido visoso continua fluindo.



As Placas Tectônicas fazem parte da Crosta e possuem zonas de encontros.



Toda a estrutura interna da terra se movimenta e quando há muita tensão, alguns pontos da crosta podem se romper e o magma líquido sai pelas "falhas" das placas tectônicas em forma de lava.



A lava liberada pelos vulcões forma nossos minerais e rochas, pois o magma contém elementos como Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Ferro (Fe), que se cristalizam conforme este líquido viscoso se resfria.

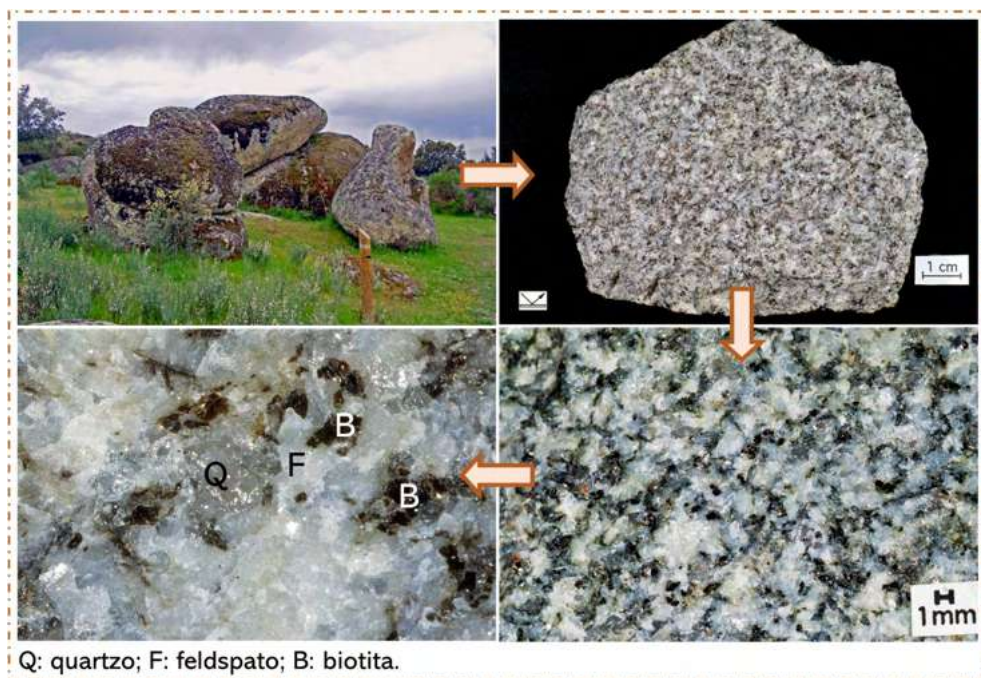


👉 @museu\_de\_ciencia\_do\_solo

## MINERAIS PRIMÁRIOS

São substâncias inorgânicas, que formam um sólido homogêneo, com uma composição química definida e estrutura cristalina. Os minerais primários compõem as rochas e podem ser encontrados na fração areia e silte do solo, quando ainda não sofreram a ação intensa do intemperismo químico. Assim, através desses minerais, se torna possível avaliar o grau de evolução do solo e de sua reserva mineral. Os minerais primários mais abundantes e resistentes encontrados nos solos são o quartzo, as muscovitas e os feldspatos.

Os minerais são divididos em vários grupos, dos quais a classe de maior importância na formação dos solos é a dos silicatos, que compõem, em volume, aproximadamente 95% da crosta terrestre. Os principais silicatos de importância agrícola são: quartzo, feldspatos (alcalinos e plagioclásios), feldspatoides, micas (biotitas e muscovitas), anfibólios, piroxênios e olivinas. Existem minerais de outras classes que também possuem importância agrícola, como os óxidos, sulfatos e carbonatos. Abaixo vemos uma rocha chamada granito e seus diferentes minerais primários e na figura posterior temos exemplos dos principais silicatos.



👉 Altas de rochas




👉 MuseuHE    👉 GeociênciasUSP

É importante lembrarmos que rochas formadas por minerais primários escuros, também chamados de ferromagnesianos, como olivinas, anfibólios, piroxênios e biotitas, tendem a originar solos mais argilosos e férteis, do que rochas formadas por minerais

mais claros, como quartzo, feldspatos e muscovitas. Vamos visualizar mais características desses minerais nas imagens abaixo.

## 2.2 Relevo

As diferentes formas de relevo influenciam o movimento da água no corpo do solo, tanto a infiltração no perfil, quanto o escoamento superficial e, portanto, condicionam o processo de formação.

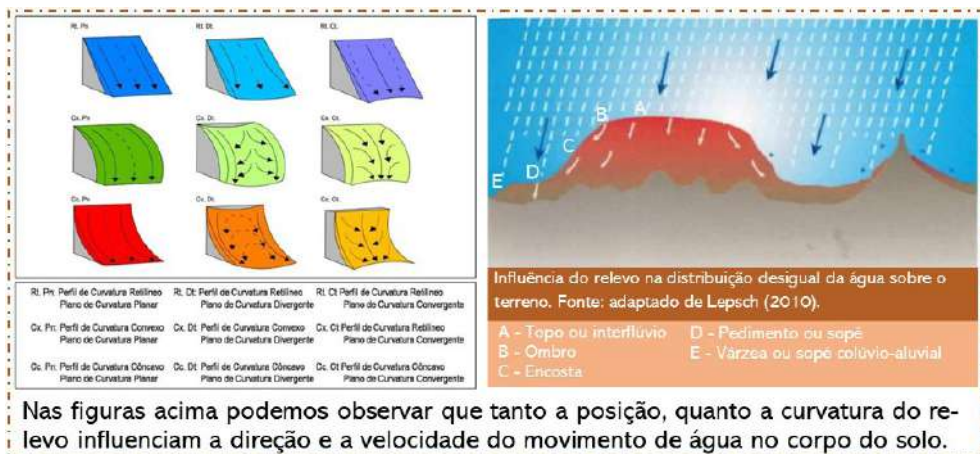
O perfil do Instagram  @geonial nos traz os principais relevos brasileiros. Para a explicação de cada um, basta acessar o perfil e ver a sequência de imagens.



 Relevos do Brasil

Os fluxos de água na paisagem são responsáveis pelo movimento de elementos e substâncias solúveis e pelo carreamento de partículas do solo. Assim, quando a água infiltra no corpo do solo, ela pode levar os nutrientes para as camadas mais profundas do solo, reduzindo a sua fertilidade. De forma análoga, as partículas, principalmente da fração argila, também podem ser carreadas em profundidade, o que pode causar a formação de um gradiente textural no perfil e, em casos mais extremos, o entupimento dos poros das camadas mais profundas. Quando o movimento de água é superficial, o arraste das partículas causa erosões em diferentes intensidades, a depender da forma de relevo. O que controla esses processos são a distância do lençol freático e a declividade do terreno.

Os pontos mais altos da paisagem, conseqüentemente os de maior distanciamento do lençol freático, associados a uma baixa declividade são excelentes para possibilitar altas taxas de infiltração de água e drenagem, propiciando a formação de solos profundos. Por outro lado, pontos de paisagem bem drenados, porém com grandes declives agravarão o escoamento superficial às custas da infiltração e posterior arraste das partículas, aumentando assim a taxa de erosão e expondo, frequentemente, o material de origem. Logo, nesses se encontram solos rasos e pouco intemperizados. Apesar do menor declive, os pontos mais baixos da paisagem estão mais próximos do nível do lençol freático, sendo geralmente mal ou muito mal drenados, estando sob condições anaeróbicas (ambiente redutor) na maior parte do ano.



↳ Behling (2017)

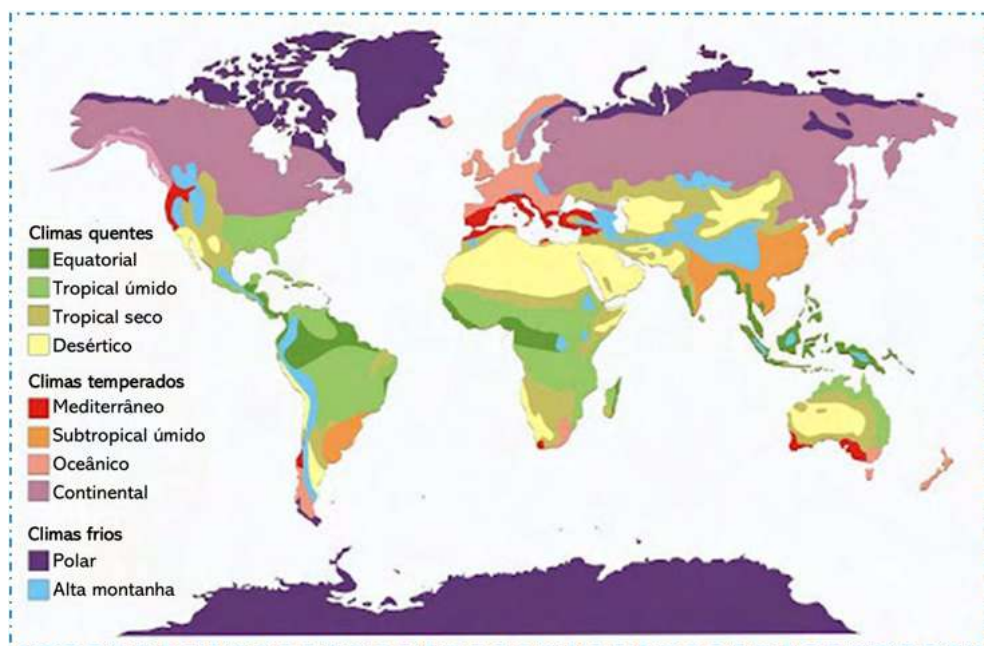
## 2.3 Clima

O papel do clima na formação do solo está principalmente relacionado aos atributos precipitação pluviométrica, taxa de evapotranspiração e temperatura, tendo em vista seu impacto no intemperismo e na evolução do solo.

A chuva proporciona a entrada de água no solo, influenciando o intemperismo físico, químico e biológico. Assim, em regiões úmidas o processo de formação do solo é mais rápido, em relação às regiões áridas.

A temperatura afeta a velocidade das reações químicas e os processos físicos de desintegração da rocha, logo em regiões quentes as reações do intemperismo ocorrem de forma acelerada.

A relação entre a taxa de evapotranspiração (água que sai do solo pelos processos de evaporação da água e transpiração das plantas) e a taxa de precipitação pluviométrica determina a direção do movimento de água no solo, sendo, na sua maior parte, descendente quando na região chove mais do que evapotranspira, e ascendente quando ocorre o contrário.



Mapa climático mundial

Na figura anterior, podemos observar os diferentes climas do planeta e, na figura

a seguir, vemos a relação dos diferentes climas com o grau de intemperismo dos solos. Assim, podemos intuir que as regiões com climas mais quentes e úmidos têm solos mais profundos e mais intemperizados do que as demais regiões. Porém, não podemos generalizar essa relação, pois devemos lembrar que o processo de formação é governado por outros quatro fatores e, logo, cada região é na verdade um mosaico de solos, devido às diferentes combinações de condições de clima, organismos, relevo, material de origem e tempo.



👉 @geografiacompleta

👉 @geografiacompleta

## 2.4 Organismos

Possuem grande relação com o fator clima, pois são fortemente afetados pela temperatura e umidade do ambiente. Os organismos atuam desde a exposição inicial da rocha à superfície. Os primeiros organismos a atuar são as bactérias litotróficas, seguidas de fungos, líquens, briófitas, pteridófitas e plantas superiores. A presença da matéria orgânica nos estágios iniciais de transformação da rocha diminui o pH da solução e acelera a reação da hidrólise. Assim, com o aumento dos organismos no solo, mais nutrientes são liberados dos minerais primários, possibilitando o desenvolvimento de vegetação mais densa.

Com o avanço do intemperismo e aumento da vegetação e atividade microbiana, ocorre o aumento no teor de matéria orgânica no solo, deixando a camada superficial mais escura. Os organismos também influenciam na agregação de partículas e na infiltração de água, através dos efeitos da própria matéria orgânica e da atividade de formigas,

minhocas, cupins, fungos, bactérias, dentre outros. Assim, solos com elevada atividade biológica possuem boas condições de estrutura, minimizando as taxas de erosão do solo.



Nesta seqüência vemos a atuação de bactérias, líquens, fungos, briófitas, pteridófitas e plantas superiores na formação do solo.

Associando os fatores de formação clima e organismos, concluímos que regiões úmidas e quentes reúnem as condições ótimas para um intemperismo acelerado e formação de solos mais profundos. Esses solos apresentam características favoráveis para a mecanização e manejo, e a sua fertilidade depende fortemente dos processos microbianos e bioquímicos, como mineralização da matéria orgânica, fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfatos, fitoestimulação e micorrização (esses processos serão mais bem tratados na Unidade III), ou da adição de insumos externos, como os adubos minerais. Por outro lado, regiões frias e/ou secas tendem a solos mais rasos e menos intemperizados devido à baixa atividade microbiana e/ou à falta de água para as reações do intemperismo químico e físico. Frequentemente, esses solos apresentam mais impedimentos físicos do que químicos, quanto ao uso agrícola.

## 2.5 Tempo

Não é apenas cronológico, mas depende da maturidade e evolução dos solos. Em regiões onde o clima não é favorável para atividade microbiana e com baixa precipitação pluviométrica, a formação dos solos pode levar muito tempo e resultará em solos pouco evoluídos. Já em regiões de intenso intemperismo, a pedogênese é mais rápida e os solos formados serão maduros e evoluídos.

O tempo deve ser medido cronologicamente a partir da exposição do material de origem ao intemperismo, até o momento em que há mudança em qualquer um dos fatores de formação. Nesse caso, dizemos que o solo passa por um novo tempo zero, e o processo

de pedogênese tem um novo início sob novas condições.

**F**  
**O**  
**R**  
**M**  
**A**  
**C**  
**A**  
**O**  
**D**  
**O**  
**S**  
**O**  
**L**  
**O**

## FATOR TEMPO

Formação do solo

Tempo

A Solo intemperado (Pouco desenvolvido)

B Rocha (Pouco exposta)

C Solo jovem (Fresco)

D Solo maduro (Bem desenvolvido)

“O fator tempo apresenta uma relação não apenas de cronologia, mas também de maturidade e evolução (KÄMPF e CURI, 2012). O MATERIAL DE ORIGEM, o CLIMA, os ORGANISMOS e o RELEVO são fundamentais para determinar o TEMPO que um solo levará para se formar. Solos desenvolvidos a partir de rochas ricas em quartzo, por exemplo, levam mais tempo para se formar do que solos originados de rochas ricas em ferro (Fe). “Em ambientes de clima árido e semiárido, com baixa precipitação pluviométrica, mesmo com o material de origem exposto por um longo tempo, a baixa intensidade de intemperização formará solos jovens, pouco evoluídos. Por outro lado, condições de intenso intemperismo e alteração do material de origem, mesmo com exposição recente deste, formará solos maduros e evoluídos do ponto de vista da pedogênese” (PEREIRA et al., 2019).

👉 @tintas\_matiz

Vamos pensar em situações práticas! Como falamos na seção do relevo, em paisagens com elevada declividade ocorre constante erosão do solo recém-formado, expondo o material de origem à superfície. A cada nova exposição, temos um novo tempo zero e o reinício da pedogênese. Os solos da baixada, nessa mesma paisagem, também passam por um novo tempo zero, pois recebem sedimentos já intemperizados na sua superfície, que consistem em um novo material de origem, neste caso denominado alóctono.



## VOCÊ SABE

## O QUE SÃO

## PALEOSSOLOS ?

## QUAIS SÃO OS TIPOS?

### Paleossolo reliquial

- > São aqueles que permanecem expostos na paisagem desde sua formação.
- > Apresentam propriedades que resultam da somatória de vários processos pedológicos que se sucederam na paisagem.

(f) Santa Cruz Island, California, USA



Solo reliquial encontrado na superfície porém formado em um período de maior unidade

Daniel R. Muhs 2020

(c) Near Peoria, Illinois, USA



Exumado (antes enterrado) Solo Sangamoniano formado no último período inter-glacial

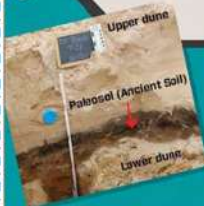
Daniel R. Muhs 2020

### Paleossolo exumado

- > São aqueles que estiveram soterrados por um período, guardando características pedológicas e depois foram expostos em decorrência da erosão dos materiais que o recobriam.

### Paleossolo soterrado

- > São aqueles formados em uma superfície de relevo pretérita e recobertos por depósitos sedimentares, onde suas características pedológicas foram preservadas pelo soterramento.



Daniel R. Muhs 2020

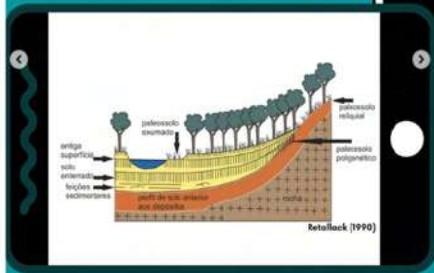
Você sabia que os paleossolos são reconhecidos em três grandes tipos?



Nossa, mas as quais foram os critérios para que eles pudessem ser agrupados nesses tipos?



Vou te mostrar uma foto que tenho no celular, talvez fique mais evidente!



Há situações que essas mudanças são mais drásticas e abruptas, como no caso de grandes eventos naturais, como terremotos, atividade vulcânica, tsunamis, furacões etc. Nesse sentido, podem-se originar os Paleossolos, que são solos enterrados que guardam as informações de condições ambientais pretéritas.

Atualmente, a humanidade também impõe mudanças drásticas no processo de formação do solo, principalmente nos espaços urbanos e nas atividades industriais e de mineração. Podemos pensar em áreas aterradas para construção civil, áreas com deposição de escombros, de rejeitos de mineração etc. Os solos das regiões afetadas pela lama dos desastres de Mariana e Brumadinho, por exemplo, possuem atualmente condições totalmente diferentes do processo de formação inicial.

Podemos pensar também, nas condições opostas, ou seja, regiões de relevo plano sem atividades sísmicas e interferência humana significativas. Nesse contexto, o processo de formação é contínuo, sem passar por novos tempos zeros. Associado a um clima e atividade biológica intensos, formam-se solos profundos e com elevado grau de intemperismo.



👉 Senado (2020)

👉 Veja (2020)

### 3 . PROCESSOS PEDOGENÉTICOS MÚLTIPLOS

Os quatro processos básicos de formação do solo que ocorrem durante a atuação dos fatores de formação são: adição, remoção (perda), transformação e translocação. Esses processos são denominados múltiplos (PPMs) ou gerais.

A adição corresponde à entrada de material por fontes externas ao solo como exemplo, o vento, que pode trazer poeiras industriais contendo substâncias tóxicas, cinzas vulcânicas e cinzas das queimadas; a chuva, que traz compostos da atmosfera; as plantas e animais, que depositam resíduos sobre o solo etc.

O processo de remoção é definido pela saída de materiais do solo por diversas vias, como queimadas, colheita, eluviação, erosão e lixiviação.

A translocação é a movimentação de material orgânico e inorgânico dentro do perfil. Esse movimento pode ser realizado tanto de forma vertical como horizontal. Geralmente, os compostos movimentados são de tamanho pequeno, sendo mais facilmente mobilizados pela água.

As transformações que ocorrem no solo, modificam os seus constituintes podendo ser químicas, físicas, biológicas e mineralógicas. Como exemplo, temos a redução de tamanho dos minerais primários, a transformação destes em secundários, a decomposição da matéria orgânica, dentre outros.

Para melhor compreensão dos PPMs, vamos observar as figuras a seguir:



### PROCESSOS DE FORMAÇÃO DO SOLO

ARRASTA PRO LADO

#### ADIÇÃO

Refere-se à entrada de organismos, água, poeira, alúvios, colúvios, etc. no corpo do solo, como exemplo: a adição de água e gases que entram pelos poros do solos e se difundem pelo seu perfil.



A forma de adição varia de acordo com o ambiente; em biomas com grande biomassa, irá ocorrer uma considerável adição de material orgânico à superfície do solo, gerando húmus.

#### REMOÇÃO

Refere-se às perdas que ocorrem tanto na superfície do solo quanto no seu interior. Como exemplo, temos a **erosão** pela água das chuvas que leva a perda das partículas do solo (imagem 1). Essa perda também pode ser provocada pela ação dos ventos. Vale salientar que o tipo de relevo pode influenciar na velocidade dessas perdas.



Imagem 1. Erosão Hídrica.  
FONTE: <https://www.compartilho.com/terrazo-hidrico-errosao-ocorre-sob-muitas-formas-no-brasil/>

Outro processo que pode resultar na perda de elementos do solo é quando a água reage com os minerais, dissolvendo-os ou transformando-os, levando a liberação dos elementos químicos mais solúveis, que são levados para as águas subterrâneas, configurando a chamada **lixiviação**.

#### CURIOSIDADE

Você sabia que a vegetação contribui para a proteção do solo inibindo a erosão?

Sem vegetação, a água e os ventos arrastam as partículas do solo, provocando o processo erosivo e a perda de fertilidade.



Imagem 2. Erosão hídrica.  
FONTE: <https://blog.inec.com.br/4928446-Geografia-para-o-espoo-1-prof-isaclia-aguiar.html>

Em solos cobertos por vegetação, a água das chuvas é interceptada por folhas e ramos. Isso impede o impacto direto das gotas sobre o solo, por consequência, favorece a drenagem do excesso de umidade e facilita a infiltração através do perfil de cada solo. Além disso, a vegetação evita inundação, mantém conforto térmico e até atua na fertilização do solo.



## 4. PROCESSOS PEDOGENÉTICOS ESPECÍFICOS

Os processos pedogenéticos específicos (PPEs), são mecanismos específicos, que atuam no solo configurando suas características e resultando na diferenciação dos tipos de solo. Vamos introduzir o tema com as postagens do perfil @museudesolossr.

<h3>PROCESSOS PEDOGENÉTICOS ESPECÍFICOS</h3> <h4>1. Argiluviação (Lessivagem)</h4> <ul style="list-style-type: none"><li>• Translocação de argila do horizonte A ou E para o B, formando o B textural (Bt).</li><li>• Condiciona um gradiente textural elevado e maior suscetibilidade à erosão.</li><li>• Presente nos Argissolos, Luvissolos, Planossolos, Gleissolos, Chernossolos e Plintossolos.</li></ul>  <p>MUSEU DE SOLOS</p>	<h3>PROCESSOS PEDOGENÉTICOS ESPECÍFICOS</h3> <h4>2. Gleização</h4> <ul style="list-style-type: none"><li>• Ocorrem em ambientes hidromórficos.</li><li>• Reações de redução e oxidação.</li><li>• Presença frequente de mosqueados.</li><li>• Formação do horizonte glei (Bg ou Cg).</li><li>• Presente nos Gleissolos, Planossolos, Plintossolos, etc.</li></ul>  <p>MUSEU DE SOLOS</p>
<h3>PROCESSOS PEDOGENÉTICOS ESPECÍFICOS</h3> <h4>3. Latolização</h4> <ul style="list-style-type: none"><li>• Formam solos profundos, bem desenvolvidos e sem gradiente textural expressivo.</li><li>• Predomínio de transformação mineralógica- solos mais intemperizados .</li><li>• Solos de textura média a muito argilosa.</li><li>• Formação do horizonte Bw (B Latossólico).</li><li>• Caracterizam os Latossolos.</li></ul>  <p>MUSEU DE SOLOS</p>	<h3>PROCESSOS PEDOGENÉTICOS ESPECÍFICOS</h3> <h4>4. Dessilicação</h4> <ul style="list-style-type: none"><li>• Refere-se a transformação de minerais primários e secundários pelo intemperismo e a liberação de silício (Si) no sistema;</li><li>• O Si liberado é geralmente lixiviado;</li><li>• Quanto maior a dessilicação, mais ácidos se tornam os solos;</li><li>• Ocorrem em todas as classes de solos.</li></ul> <p>Exemplo:</p> <p>2:1 Dessilicação fraca Bissialitização → 1:1 Dessilicação moderada Monossilitização → Óxidos Dessilicação forte Alitização</p>  <p>MUSEU DE SOLOS</p>

↪ argiluviação    ↪ gleização    ↪ latolização    ↪ dessilicação

Na formação de um determinado solo, geralmente, ocorrem vários processos pedogenéticos específicos combinados, por exemplo, o processo de latolização acontece em conjunto com os processos de dessilicação, ferralitização e bioturbação. Essa rota de formação é comum nos Latossolos. O processo de vertização compreende os processos

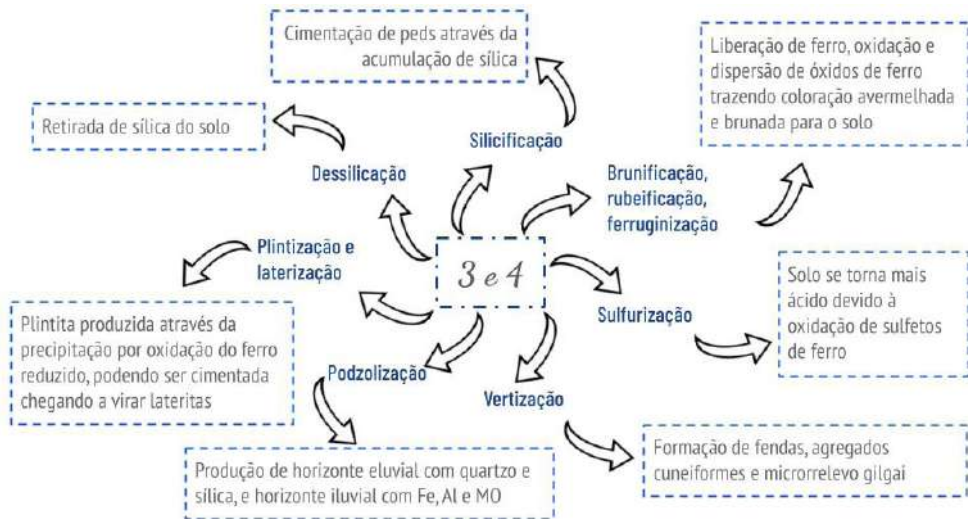
de bissialtização e pedalização. Essa rota de formação é comum nos Vertissolos. Estudaremos a classificação taxonômica na Unidade V.

<p style="text-align: center;"><b>PROCESSOS PEDOGENÉTICOS</b> ↳ ESPECÍFICOS ↲</p> <p><b>5. Plintização</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo que promove a formação de plintitas e petroplintitas no solo;</li> <li>• As plintitas são nódulos macios ricos em Fe que podem evoluir, com o endurecimento permanente, para as petroplintitas (concreções ferruginosas);</li> <li>• Promovem limitação à penetração de raízes e ao armazenamento de água no solo.</li> <li>• Responsável pelos horizontes plínticos, concrecionários e litoplínticos, que caracterizam os Plintossolos.</li> </ul>  	<p style="text-align: center;"><b>PROCESSOS PEDOGENÉTICOS</b> ↳ ESPECÍFICOS ↲</p> <p><b>6. Vertização</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo promovido pelo predomínio de minerais 2:1 expansivos;</li> <li>• Também chamado de argiloturbação;</li> <li>• Formam características vérticas (horizonte vértico - Vertissolos);</li> <li>• Presença de fendas em solo seco e de slickensides no horizonte vértico;</li> <li>• Associado à boa fertilidade natural (argila de atividade alta) e más propriedades físicas.</li> </ul>  
<p style="text-align: center;"><b>PROCESSOS PEDOGENÉTICOS</b> ↳ ESPECÍFICOS ↲</p> <p><b>7. Bioturbação</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo referente a homogeneização do solo realizada pela ação biológica.</li> <li>• A atividade biológica incorpora matéria orgânica no solo e melhora a sua porosidade e agregação.</li> <li>• Os principais revolvedores de solo são as minhocas, formigas, cupins e tatus.</li> </ul>  	<p style="text-align: center;"><b>PROCESSOS PEDOGENÉTICOS</b> ↳ ESPECÍFICOS ↲</p> <p><b>8. Podzolização</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Associado à translocação de Alumínio e ferro complexados e matéria orgânica para o horizonte B;</li> <li>• Promove a formação de horizonte eluvial (E) e iluvial (B espódico);</li> <li>• Ocorre em ambiente arenoso com flutuação do nível do lençol.</li> <li>• Forma solos frágeis e com baixo potencial de uso;</li> <li>• Formação dos Espodossolos.</li> </ul>  

👉 plintização    👉 vertização    👉 bioturbação    👉 podzolização

Nos mapas mentais a seguir, adaptados Ker et al. (2012), podemos observar alguns desses e outros processos pedogenéticos específicos mais comuns na natureza, com as suas respectivas descrições e correlações com os processos pedogenéticos múltiplos.

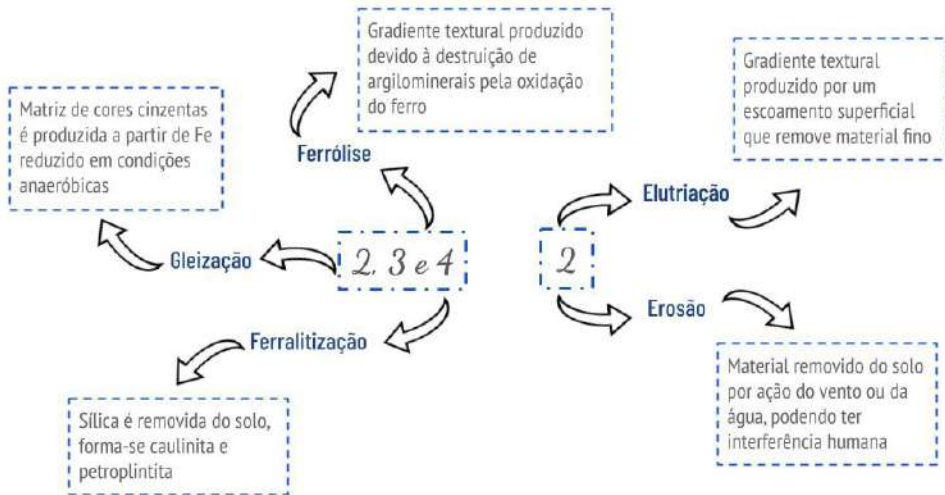
Mapa mental dos processos pedogenéticos específicos que envolvem, principalmente, os processos múltiplos de translocação (3) e transformação (4)



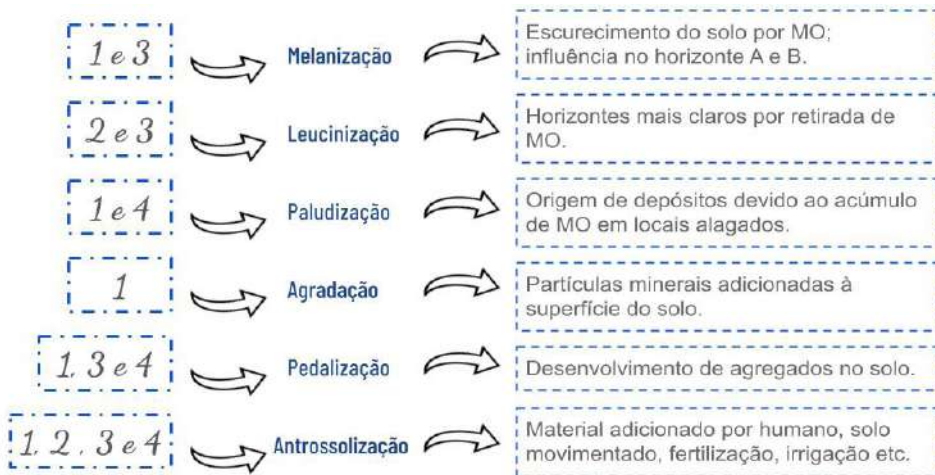
Mapa mental dos processos pedogenéticos específicos que envolvem, principalmente, o processo múltiplo de translocação (3)



Mapa mental dos processos pedogenéticos específicos que envolvem, principalmente, os processos múltiplos de remoção (2), translocação (3) e transformação (4)



Mapa mental dos processos pedogenéticos específicos que envolvem combinações de processos múltiplos de adição (1), remoção (2), translocação (3) e transformação (4)



## 5. GÊNESE DOS MINERAIS SECUNDÁRIOS

O processo de desintegração e alteração dos minerais primários através do intemperismo leva à formação dos minerais secundários. Nesse processo ocorre a formação de novos minerais, com o tamanho menor e mais ajustados às novas condições de equilíbrio que são bem diferentes daquelas da formação das rochas. Os minerais

secundários encontram-se principalmente na fração mais fina do solo, ou seja, na fração argila.



👉 @gepes.ufscar.ccn

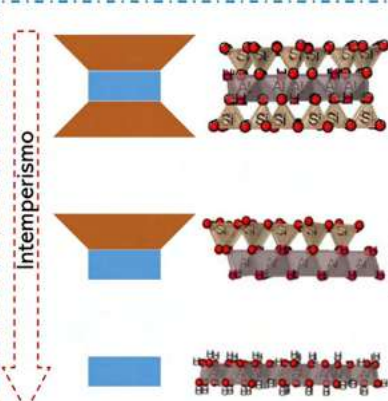
A denominação “minerais argilosos” é a forma genérica dos minerais secundários silicatados (argilominerais) e dos minerais secundários oxídicos, que designam os óxidos (O), hidróxidos (OH) e oxihidróxidos (O, OH) de ferro e alumínio. Além da concisão e brevidade que esses termos permitem, procura-se também evitar o uso de termos obsoletos como exemplo, sesquióxidos de ferro e alumínio.

Os minerais argilosos silicatados são essencialmente silicatos de alumínio hidratados com magnésio ou ferro substituindo total ou parcialmente o alumínio e podem apresentar elementos alcalinos ou alcalinos-terrosos como constituintes. São divididos em minerais 2:1 e minerais 1:1. Os principais exemplos são: caulinita, montmorilonita, vermiculita etc.

Os minerais argilosos oxídicos de ferro e de alumínio ocorrem em formas cristalinas ou amorfas, sendo as formas cristalinas representadas principalmente pela goethita ( $\text{FeOOH}$ ), hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) e gibbsita [ $\text{Al}(\text{OH})_3$ ].

A presença dos diferentes tipos de minerais secundários na fração argila do solo depende de fatores como relação Si:Al no meio, presença ou não de alcalinos e alcalinos-terrosos, balanço precipitação *versus* evapotranspiração etc., ou seja, basicamente do grau de evolução do solo. Assim, na fração argila de solos muito intemperizados e desenvolvidos predominam os minerais do tipo 1:1 (caulinita) e oxihidróxidos de ferro e de alumínio, enquanto na fração argila de solos menos evoluídos conservam-se minerais do tipo 2:1 (montmorilonita, vermiculita, illita etc.).

A fração argila dos solos apresenta grande importância por ser a fração ativa do solo e que participa de praticamente todas as reações físico-químicas que ocorrem nos solos.



Intemperismo

Argilas 2:1 - compostas de duas camadas de tetraedros de Si e uma de octaedros de Al. Parte do Si e do Al pode ser substituída por outros cátions. Assim, recebem diferentes nomes de acordo com a sua composição e localização da carga. Possuem elevada CTC (50 a 200  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ ). Ex. montmorilonita, vermiculita, illita etc.

Argilas 1:1 - compostas de uma camada de tetraedros de Si e uma de octaedros de Al. Possuem menor CTC (aproximadamente 15  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ ). Ex. caulinita e haloisita.

Oxihidróxidos de Fe e de Al - não contêm silício em sua composição. Possuem baixa CTC (entre 3 e 6  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ ). Ex. goethita, hematita e gibbsita.



### PARA REFLETIR

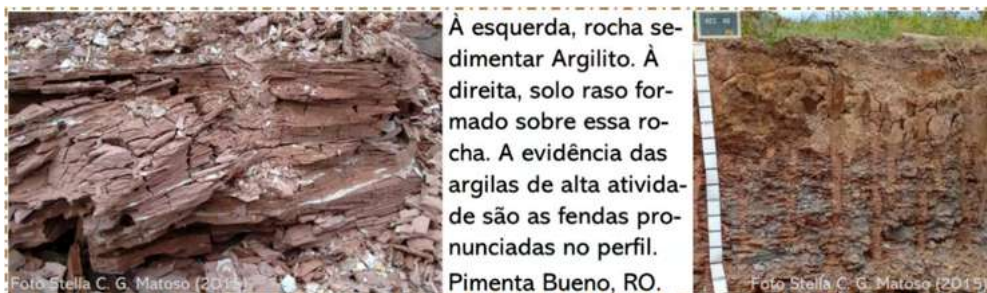
Como vimos nesta Unidade, o solo é produto de um processo de formação, resultante da atuação de cinco fatores de formação, que passam por diferentes processos pedogenéticos. É por isso que temos uma grande diversidade de solos no nosso planeta. Essa diversidade pode ser observada mesmo em pequenas distâncias. Assim, propomos que você observe a diferença dos solos nas diferentes posições do relevo da sua região. Observe também as diferenças que ocorrem dentro de um perfil de solo. Você pode usar um barranco em uma beira de estrada para fazer essa observação. Veja que o solo é constituído por diferentes seções horizontais que diferem entre si. Tudo isso ocorre devido ao processo de formação do solo.

Outro ponto interessante para refletirmos nesta Unidade, é a importância exagerada que alguns autores dão ao clima no processo de formação do solo. Assim, na maioria dos textos sobre os solos da região amazônica vemos descrições dos solos sendo invariavelmente profundos, de elevado grau de intemperismo e baixa fertilidade natural. Isso ocorre devido à extrapolação para toda a região de características, como clima quente e úmido, associado à elevada atividade biológica e um relevo plano. Condições essas, que propiciam elevado grau de intemperismo.

Se refletirmos sobre as condições de pedogênese dos solos do Acre, Amazonas e Rondônia, vemos que essas generalizações são inadequadas. Os solos da formação Solimões, que abrange parte do Acre e parte do Amazonas, recebem sedimentos da região

andina com baixo grau de intemperismo e, mesmo estando sob clima tropical possuem argilominerais de alta atividade e elevada fertilidade.

Em Rondônia, a associação do material de origem com minerais máficos e ultramáficos e relevo acidentado, nas regiões de Ouro Preto do Oeste, Nova Brasilândia do Oeste, Alta Floresta do Oeste e Colorado do Oeste, propicia a formação de solos vermelho escuros de boa fertilidade natural. Além disso, a Formação Pimenta Bueno, que abrange os municípios de Pimenta Bueno, Alvorada do Oeste e Rolim de Moura, é uma formação de rochas sedimentares ricas em minerais argilosos de alta atividade, chamadas de argilitos e folhelhos (imagem abaixo). Se você conhece essa região já deve ter ouvido falar dos solos chocolate, que são exatamente essas rochas. Quando esse material ainda está superficial (imagem abaixo), os solos possuem características similares àqueles da Formação Solimões, ou seja, argilominerais de alta atividade e elevada fertilidade.



## ESTUDANDO NA REDE



### Confira esses vídeos sobre o tema desta Unidade!

- 👉 As camadas da Terra – A Terra e suas partes
- 👉 Formação do solo
- 👉 Formação e composição do solo
- 👉 Bioturbation – Worms at Work

### Confira as séries de publicações do perfil do Instagram @labped.unicamp!

- 👉 Intemperismo: o principal agente transformador do solo
- 👉 Intemperismo químico
- 👉 Intemperismo físico
- 👉 Intemperismo biológico

👉 Os principais fatores de formação

👉 Material de origem

👉 Clima

👉 Clima parte 2

👉 Relevô

👉 Organismos

👉 Tempo

**Essas postagens também são interessantes!**

👉 Estrutura interna da Terra

👉 Formação do solo

👉 Minerais secundários

👉 Argila expansiva

👉 Você já ouviu falar sobre paleossolos?

**Você pode aprender sobre rochas jogando! Confira!**

👉 Jogo rochas



### VERIFIQUE SUA APRENDIZAGEM

1. O que é intemperismo físico e químico? Como o intemperismo biológico influencia os demais processos de intemperismo?
2. Você identifica o solo como produto da ação conjunta dos fatores de formação e dos processos pedogenéticos?
3. Descreva o papel de cada fator de formação na pedogênese.
4. Você consegue relacionar um processo pedogenético específico com os processos pedogenéticos múltiplos que ocorrem?

## UNIDADE III

### PROPRIEDADES E PROCESSOS DO SOLO



#### OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

As final desta Unidade, o estudante deverá:

- descrever as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; e
- correlacionar os diferentes processos e fenômenos que ocorrem no solo.



#### FIQUE POR DENTRO

### 1. PROPRIEDADES E PROCESSOS DO SOLO

Como aprendemos, o solo é composto por diferentes compartimentos que possuem características distintas e que interagem entre si. Didaticamente, estudamos cada compartimento, característica e reação que acontece no solo separadamente, porém tudo acontece de forma simultânea e interligada. Nesse sentido, vamos manter essa estratégia didática e estudar as principais propriedades que um solo apresenta, correlacionando com os processos que ocorrem neste solo, de forma fragmentada, mas sempre buscando alcançar a visão do todo.

Veremos que a alteração de uma propriedade do solo pode afetar uma outra e que fatores externos, como o uso e manejo do solo, podem alterar muitas propriedades e processos do solo ao mesmo tempo. É importante então, compreender o que são, como se determinam e o que nos dizem as propriedades e processos físicos, químicos e biológicos do solo.

#### 1.1 Propriedades e processos físicos do solo

As propriedades físicas do solo são influenciadas pelo tamanho das partículas, composição mineralógica e teor de matéria orgânica, além das formas de uso e manejo do solo. As propriedades e processos físicos do solo estão conectados ao seu funcionamento químico e biológico, sendo responsáveis pela suavização dos mecanismos poluentes, como filtração e lixiviação, condicionando também os processos de atenuação química e biológica. Assim, frequentemente, as propriedades físicas do solo são usadas como indicadoras da qualidade do solo.

## Granulometria e Textura do solo

Quando o material de origem do solo sofre a ação dos agentes intempéricos (físicos, químicos e biológicos), se transforma em frações granulométricas cada vez menores, como ilustra a imagem a seguir.

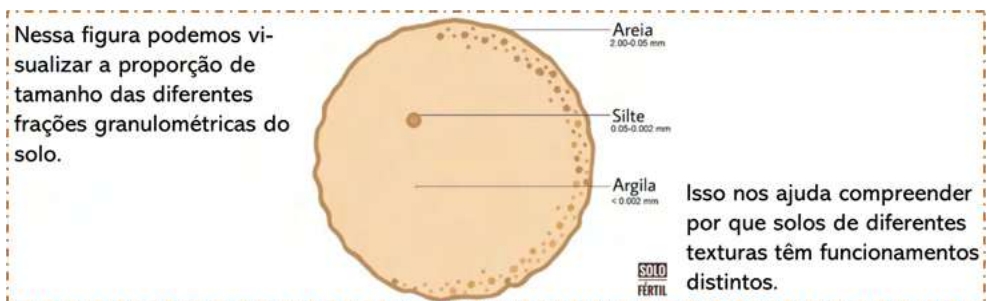


@engenharia\_que\_inova

IBGE (2015)

A proporção das partículas de vários tamanhos em uma amostra forma a textura do solo, uma das características físicas mais estáveis e importantes na classificação e funcionamento do solo. Como a textura do solo abrange as partículas sólidas minerais com até 2 mm de diâmetro (terra fina), a análise é feita com base nas frações areia, silte e argila, conforme podemos visualizar no quadro da figura acima.

Na imagem a seguir vemos a proporção de tamanho das partículas que compõem a terra fina.



@solo.fertil

Para determinar a textura do solo existem dois métodos: o teste de campo (método expedito) e a análise granulométrica realizada no laboratório. No teste de campo, usa-se basicamente o tato, porém vamos tratar mais detalhadamente deste método na Unidade V.

Na análise laboratorial, os processos são realizados para determinar o teor de cada fração granulométrica presente na amostra. Para isso, a análise é feita em três fases: pré-tratamento, onde são removidos da amostra a matéria orgânica, óxidos de ferro, carbonatos e sais solúveis; dispersão, na qual os agregados do solo são destruídos, usando um agente dispersante (hidróxido de sódio e/ou hexametáfosfato de sódio); e a separação das frações, que é feita por peneiramento para as frações mais grosseiras ( $> 0,05$  mm) e por sedimentação (Lei de Stokes) para as frações de silte e argila. A determinação do teor de argila da amostra pode ser feita pelo método da pipeta ou pelo método do densímetro.

Com o resultado da análise granulométrica podemos determinar a classe textural do solo, e para isso utilizamos o triângulo textural. Os resultados dos teores de areia, silte e argila são plotados em forma de linhas no triângulo, cujo ponto de intersecção define a textura do solo. O teor de argila deve ser demarcado na escala do lado esquerdo do triângulo, traçando uma linha horizontal; o teor de silte deve ser demarcado na escala do lado direito do triângulo, traçando uma linha inclinada; e o teor de areia deve ser demarcado na escala da parte inferior do triângulo, traçando uma linha inclinada.



Mais à esquerda, vemos a reação da amostra de solo após a adição de água oxigenada ( $H_2O_2$ ). Essa etapa é realizada no pré-tratamento da amostra para solos com teor de matéria orgânica maior que 5%.

Mais à direita, visualizamos o processo de lavagem da amostra de solo, após o tratamento com água oxigenada.

Depois dessas etapas procede-se a análise granulométrica do solo.



Nessa sequência vemos o processo de dispersão das partículas em um agitador tipo Wagner, seguido da separação da fração areia em peneira de 0,05 mm. A fração areia é transferida da peneira para um béquer com o auxílio de uma pisseta e levada para secar em estufa a 105 °C.



Após a separação da fração areia, a amostra (silte + argila) e a solução dispersante são transferidas para provetas de 1000 mL para aguardar o tempo de sedimentação do silte, como podemos ver na tabela ao lado.

**Tabela 1.** Tempo de sedimentação calculado para a fração silte ( $0,002 \text{ mm} < \phi < 0,05 \text{ mm}$ ) em função da temperatura da suspensão para a profundidade de 5 cm e para solos com densidade de partículas média de  $2,65 \text{ kg dm}^{-3}$ , em determinação efetuada ao nível do mar.

Temperatura °C	Tempo de sedimentação a 5 cm	
	H	min
15	4	23
16	4	16
17	4	10
18	4	4
19	3	58
20	3	52
21	3	46
22	3	41
23	3	36
24	3	31
25	3	26
26	3	21
27	3	17
28	3	13
29	3	9
30	3	5

Fonte: Almeida et al. (2012).

Teixeira et al. (2017)



Método da pipeta



Método do densímetro

Na imagem mais à esquerda, vemos a coleta de uma alíquota, contendo a solução e argila, após o processo de sedimentação do silte.

Na imagem mais à direita, vemos a leitura da densidade da solução contendo argila, após o processo de sedimentação do silte.

Ambos os métodos são usados para determinar as frações granulométricas do solo. A vantagem do método da pipeta é a sua maior precisão, enquanto o método do densímetro, apresenta o benefício de ser mais rápido.

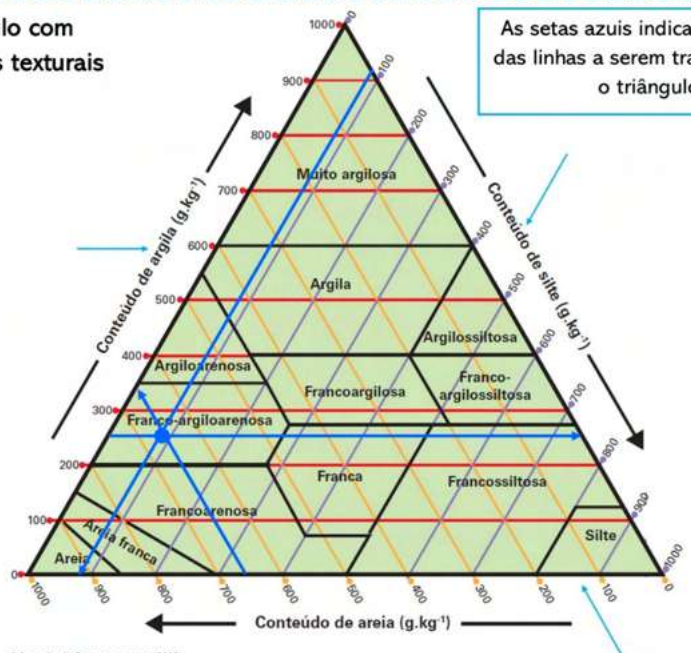
@andressa.lufichoski

@sondaengaju

Na figura a seguir temos um exemplo de determinação da classe textural de um solo, cujos resultados da análise granulométrica foram: 660 g/kg de areia, 90 g/kg de silte e 250 g/kg de argila. Como observaremos, esse solo possui textura franco-argiloarenosa, pois as linhas retas se encontraram em um ponto dentro dessa classe textural.

Triângulo com  
13 classes texturais

As setas azuis indicam a direção das linhas a serem traçadas sobre o triângulo.



Adaptado de Santos e outros (2013)

IBGE (2015)

## Observações

Às vezes quando vamos fazer a classificação textural, a intersecção entre as retas se encontra no limite entre duas classes texturais, assim devemos observar os seguintes requisitos:

- **Areia:** mais de 85% e menos de 10% de argila.
- **Areia franca:** mais de 70% e teor de argila igual ou maior que 10% e menor que 15%.
- **Francoarenosa:** 7 a 20% de argila, mais de 52% de areia; ou menos de 7% de argila, menos de 50% de silte e mais de 43% de areia.
- **Franca:** 7 a 27% de argila, 28 a 50% de silte e 52% ou menos de areia.
- **Francossiltosa:** 50% ou mais de silte e 12 a 27% de argila; ou 59 a 80% de silte e menos do que 12% de argila.
- **Silte:** 80% ou mais de silte e menos de 12% de argila.
- **Franco-argiloarenosa:** 20 a 35%, menos de 28% de silte e mais de 45% de areia.
- **Francoargilosa:** 27 a 40% de argila e mais de 20 a 46% de areia.
- **Franco-argilossiltosa:** 27 a 40% de argila e 20% ou menos de areia.
- **Argiloarenosa:** 35% ou mais de argila e 45% ou mais de areia.
- **Argila:** 40% ou mais de argila, 45% ou menos de areia e menos de 40% de silte.
- **Argilossiltosa:** 40 a 60% de argila e 40% ou mais de silte.
- **Muito argilosa:** mais de 60% de argila.

## Mas por que determinamos a textura do solo?

A partir do conhecimento da textura podemos tirar algumas conclusões sobre o solo, por exemplo: 1) solos arenosos apresentam maior infiltração de água, maior densidade, menor retenção de água, maior aeração e muitas vezes acaba sendo mais pobre em fertilidade por ter seus nutrientes carregados pela rápida infiltração da água (processo de lixiviação); 2) solos de textura média a argilosa, têm maior grau de agregação das partículas, menor densidade, maior porosidade e maior retenção e disponibilidade às plantas; 3) solos de textura muito argilosa, por serem muito pegajosos, podem apresentar dificuldades de mecanização, principalmente quando úmidos. Claro que outros fatores, como o manejo do solo, interferem conjuntamente nessas propriedades, como veremos na Unidade VI.

## Agregação e Estrutura do solo

A estrutura do solo é definida pelo arranjo das partículas sólidas de diversos tamanhos. Esse arranjo se dá através do processo de agregação do solo, que é a união das partículas, por forças mecânicas e ação de agentes cimentantes. Assim, o processo de agregação resulta na formação das estruturas e do espaço poroso do solo, que estão intimamente relacionados.

A formação das estruturas do solo corresponde ao processo pedogenético específico chamado pedalização e acontece da seguinte forma: as partículas do solo se aproximam pelo efeito de forças mecânicas, como ação da gravidade, movimentos de expansão e contração da massa de solo, crescimento das raízes e movimento da fauna. Em seguida, essas partículas se unem por meio de agentes cimentantes, como argilominerais, oxihidróxidos de ferro e alumínio, matéria orgânica, micélios de fungos e actinomicetos, polissacarídeos etc.

A estrutura do solo é analisada e caracterizada sob diferentes pontos de vista, em caráter macro e microscópico. A microestrutura é objeto de estudo da micromorfologia, e vem sendo analisada para esclarecer os processos de gênese do solo. A macroestrutura é frequentemente descrita e utilizada para a classificação taxonômica e como indicadora das relações físico-hídricas do solo.

Nas postagens a seguir, verificamos resumidamente como se formam as estruturas do solo, a importância desse processo e alguns tipos de estrutura existentes.



Dessa forma, podemos encontrar solos e horizontes com diferentes estruturas. A descrição da estrutura é feita em forma (tipo), tamanho (classe) e grau de desenvolvimento dos agregados.

A estrutura deve ser descrita pelo pedólogo em campo e refere-se à macroestrutura. Já a microestrutura pode ser observada em laboratório sob lentes do microscópio.

**Macroagregado**  
3,0 mm  
• Raízes  
• Hifas

**Microagregado**  
0,3 mm  
• Flocos secundários  
• Hifas  
• Polissacarídeos

**Submicroagregado**  
0,03 mm  
• Clulas individuais com restos de restos de plantas e de microorganismos  
• Restos de plantas recobertas com argila

**Partículas primárias**  
0,001 mm  
• Ligantes do tipo argilo-argila e argilo-humus

A formação da estrutura envolve processos físicos, químicos e biológicos, que favorecem a agregação e a estabilização dos agregados.

Dentre eles, estão: expansão e contração, conteúdo de M.O, efeito de cátions adsorvidos, congelamento e degelo, entre outros.

Legenda! A estabilidade desses agregados está relacionada com a ação cimentante de decomposição microbiana, húmus, dos óxidos hidroxilados, de minerais de argila, além de outros processos, incluindo, ainda, ciclos de umedecimento e secagem.

É isso aí! A penetração de raízes, água e ar é facilitada em um solo estruturado e não compactado, o que traz benefícios agrícolas e ambientais. O solo é um organismo dinâmico com funções ecológicas e características indispensáveis à vida.

**SOLO SAUDÁVEL**

## TIPOS DE ESTRUTURA

Esferoidal      Bloco angular      Prismática

Laminar      Bloco subangular

**GEPES**  
GRUPO DE ESTUDO DE PEDOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

👉 @lapep.ufu

👉 @gepes.ufscar.ccn

Um solo bem estruturado contém agregados estáveis com poros dentro e entre as suas estruturas, possibilitando o movimento de água e ar no solo e o fácil desenvolvimento das raízes das plantas, que ocupam esses caminhos formados entre os agregados. Para avaliar a estrutura física do solo podemos usar metodologias qualitativas, que podem ser visuais, por exemplo, o Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES), e quantitativas, determinadas em laboratório, como o diâmetro médio ponderado e o índice da estabilidade de agregados.

**Importante:** um solo com bom grau de agregação possui estruturas estáveis com a presença de poros, que resistem aos processos erosivos ao mesmo tempo que permitem a aeração, infiltração e retenção de água no solo; já um solo compactado possui porosidade reduzida, pela aproximação das partículas por forças externas, como o tráfego de máquinas e animais.

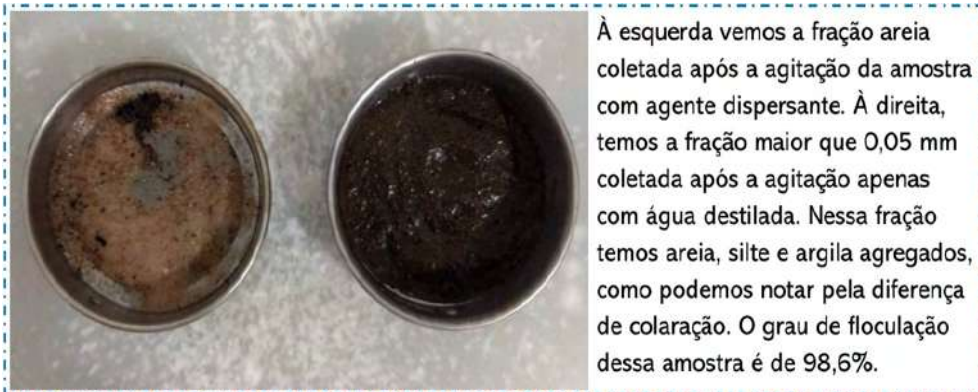


Figura da metodologia Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo (DRES), demonstrando as camadas de solo com notas de qualidade estrutural ( $Q_{ec}$ ) variando de 6 a 4 (com evidências de conservação/recuperação) e de 3 a 1 (com evidências de degradação por desagregação ou compactação excessivas).

Teixeira et al. (2017)

### *Argila dispersa em água e Grau de flocculação do solo*

A argila dispersa em água (ADA) e o grau de flocculação ( $G_{F10}$ ) são bons indicadores do grau de agregação do solo, que podem nos auxiliar no diagnóstico da qualidade do solo. A ADA é determinada de forma muito similar à argila total da amostra obtida na análise granulométrica realizada no laboratório, como vimos acima, porém não se usa o agente dispersante. A seguir vemos a diferença da fração areia coletada de uma amostra de um mesmo solo agitada com agente dispersante (hidróxido de sódio) e sem agente dispersante (apenas com água destilada).



De posse dos resultados de argila total e da argila dispersa em água de uma mesma amostra, podemos calcular o grau de floculação do solo pela seguinte fórmula:  $G_{F_{10}}(\%) = [(a - b) / a] \times 100$ , onde a: argila total (g/kg); b: argila dispersa em água (g/kg). Esse índice varia de 0 a 100% e quanto maior for, melhor, pois assim indica que a argila se encontra floculada, formando agregados e, portanto, o solo é menos suscetível aos processos de erosão e de iluviação da argila. Esse último, pode causar o entupimento dos poros das camadas subsuperficiais do solo, prejudicando o processo de infiltração de água e crescimento das raízes.

### *Densidade do solo*

A densidade é a relação entre a massa do solo seco e seu volume, e pode ser expressa pela densidade do solo ( $D_s$ ) e pela densidade das partículas ( $D_p$ ).

Na densidade do solo considera-se a razão entre a massa de uma porção de solo seco em estufa e o volume total ( $V_t$ ) desta massa. Portanto, nesse cálculo a porosidade da amostra é considerada. Alguns métodos utilizados para determinar a  $D_s$  são: do anel volumétrico (o mais utilizado), da proveta, do torrão parafinado e do monolito. Por qualquer método utilizado, quanto mais massa sobre o volume do solo obtivermos, maior será a  $D_s$ , com menos espaço poroso, tornando-o compactado ou adensado. Por outro lado, quanto mais agregado o solo estiver, mais espaço poroso ele terá e menor  $D_s$ .

Todos os fatores que afetam a agregação do solo, afetarão também a  $D_s$ . Solos argilosos tendem a ser menos densos do que solos arenosos, devido ao seu maior estado de agregação e, conseqüentemente, maior porosidade. Do mesmo modo, quanto maior o teor de matéria orgânica dos solos orgânicos menor será a sua densidade. Assim, podemos observar que os principais fatores que afetam a densidade do solo são: textura, estrutura, mineralogia, teor de matéria orgânica e o uso e manejo do solo.

Na densidade das partículas considera-se a razão entre a massa de uma porção de solo ( $M_s$ ) seco em estufa e o volume ocupado por suas partículas ( $V_s$ ). O arranjo da estrutura e a porosidade do solo não interferem na densidade das partículas, pois é considerada apenas a natureza mineralógica e matéria orgânica contida na amostra. Assim, essa é uma propriedade dos solos muito estável. Um método usual para a determinação da  $D_p$  é o do balão volumétrico.

Vamos visualizar as postagens do perfil do Instagram @labped.unicamp e aprender mais sobre densidade do solo e densidade de partículas!



## DENSIDADE DO SOLO

Visa medir a densidade de um volume conhecido de solo. É a relação entre a massa do solo e o volume que este ocupa. Esta medida está diretamente relacionada com a porosidade total e composição dos solos.

Como é feita esta avaliação?

A determinação da densidade do solo envolve duas etapas, sendo a obtenção da massa da amostra por pesagem e a determinação de seu volume. O método do anel volumétrico é um dos mais utilizados!

Coletar uma amostra indeformada utilizando um cilindro com massa e volume conhecido

Ante os procedimentos

A amostragem deve ser feita com cuidado para evitar a compactação no interior do cilindro.

Com auxílio de uma faca cortante, igualar as arestas com ambas as superfícies do anel

Secar a amostra em estufa a 105°C por 48h. Deixar esfriar em dessecador e então pesar.

Solo seco =  $(\text{massa seca total} - \text{cilindro})$   
 Volume do cilindro =  $\pi \cdot r^2 \cdot h$

**Densidade do solo\* =  $ms / v$**

\*unidade de medida =  $g/cm^3$

$r^2$  = quadrado do raio do cilindro  
 $h$  = altura do cilindro  
 $ms$  = massa seca de solo  
 $v$  = volume do cilindro

Para determinar a densidade, você deve ter o volume do cilindro e a massa do solos seca.

SIM!

Pois para a densidade aparente considera-se o volume total da amostra, inclusive o espaço vazio entre os grãos que a compõem

a amostra deve ser indeformada?

Ajuda na avaliação das condições do solo para o desenvolvimento das plantas e algumas propriedades do solo como: drenagem, porosidade, condutividade hidráulica, permeabilidade ao ar e água.

E o que esta análise indica?

De maneira geral, quanto mais elevada for a densidade do solo, maior será sua compactação e menor sua porosidade total e, conseqüentemente, maiores serão as restrições para o crescimento do sistema radicular e desenvolvimento das plantas.

Distribuição das raízes nas densidades do solo de:

A) 1,0 Mg/m<sup>3</sup>  
 B) 1,2 Mg/m<sup>3</sup>  
 C) 1,4 Mg/m<sup>3</sup>

NUNES et al., 2016

@labped.unicamp

POR QUE ANALISAMOS OS SOLOS?

**DENSIDADE DE PARTÍCULAS**

S, Mn, Cu, Zn, Ca, B, Fe, Cl, Mg

Sólidos e espaço poroso: 1,33 Mg  
 1/2 espaço poroso  
 1/2 sólido: 1,33 Mg  
 Buckman, Brady 1967

**DENSIDADE DE PARTÍCULAS**

"A determinação da densidade de partículas visa medir a densidade média das partículas minerais e orgânicas na amostra de solo, refletindo sua composição. Está relacionada ao volume efetivamente ocupado por matéria sólida, desconsiderando a porosidade" (Embrapa 2017)

Aferir o balão volumétrico de 50 ml

Pesar 20 g de solo, colocar em recipiente de massa conhecida. Secar em estufa a 105 °C para obter a massa da amostra seca.

Transferir a amostra para o balão. Com uma bureta, adicionar álcool etílico até cobrir a amostra, agitando bem o balão para eliminar as bolhas de ar.

Prosseguir com a operação, até completar o volume do balão, verificando a ausência de bolhas. Anotar o volume de álcool gasto.

A determinação da densidade do solo envolve duas etapas, sendo a obtenção da massa da amostra por pesagem e a determinação de seu volume. O método do balão volumétrico é o mais simples de ser executado!

Como é feita esta avaliação?

Anote os procedimentos



👉 @labped.unicamp

### Porosidade do solo

A porosidade do solo é a fração de solo não ocupada por sólidos e sim por água e por ar. A forma em que as partículas do solo estão organizadas, o formato delas, a estrutura, a textura, e a matéria orgânica presente no solo, determinam a quantidade e forma dos poros existentes.

A porosidade pode ser classificada em textural, estrutural e específica. A porosidade textural está entre as partículas individuais de areia, silte e argila e não há formação de agregados. A porosidade estrutural é presente entre os agregados e elementos estruturais do solo e dependem das variáveis da estrutura, que são o tipo, tamanho e grau de desenvolvimento. Já a porosidade específica, é formada pela atividade biológica, fauna e

vegetação do local.

Outra classificação dos poros é quanto ao tamanho, que pelo diâmetro define os poros em macro, meso e microporos. Os macroporos são maiores que 100  $\mu\text{m}$ , e proporcionam ao solo boa aeração e conduzem a água durante a infiltração. Os mesoporos estão entre 30 e 100  $\mu\text{m}$  e são condutores de água durante a redistribuição, quando os poros se esvaziam depois da infiltração. Os microporos são os maiores de 30  $\mu\text{m}$  e atuam na retenção e armazenamento da água.

Aqui podemos relembrar a composição ideal do solo, vista na Unidade I. Vimos que o solo deve ter 50% de parte sólida e 50% de espaço poroso, distribuído equitativamente entre macro e microporos (neste caso, os mesoporos são considerados microporos). Desse modo, garante-se a fixação da planta e a disponibilidade de água e nutrientes e previne-se os processos erosivos, devido à boa taxa de infiltração de água no perfil.

O estado de agregação do solo é fundamental para o equilíbrio da porosidade, pois entre os agregados do solo são formados os macroporos e dentro dos agregados são formados os meso e microporos, como podemos ver na ilustração a seguir.



👉 @gepes.ufscar.ccn

👉 @pedologiaufpel

A porosidade total do solo ( $P_t$ ) pode ser determinada diretamente em amostras indeformadas por meio da saturação e secagem da amostra, determinando-se a razão entre a massa de água (diferença entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco a 105  $^{\circ}\text{C}$  em estufa) e o volume da amostra. Também pode ser obtida indiretamente por cálculo a partir da densidade do solo ( $D_s$ ) e da densidade de partículas ( $D_p$ ) de uma mesma amostra:

$P_t (m^3/m^3) = (D_p - D_s) / D_p$ . A determinação do volume de macro e microporos é feita pela aplicação de diferentes tensões em amostras indeformadas saturadas, pelo método da mesa de tensão.

## 1.2 Propriedades e processos químicos do solo

As propriedades e os processos químicos do solo interagem entre si e com a fração física e biológica do solo, afetando e sendo afetada por elas. Pelo fato do solo ser um sistema tridimensional e com diversidade na constituição da fase sólida, ele apresenta várias propriedades químicas, que são influenciadas pelo tamanho das partículas, composição mineralógica e teor de matéria orgânica, além das formas de uso e manejo do solo. Abordaremos algumas dessas propriedades a seguir.

### *Cargas elétricas do solo*

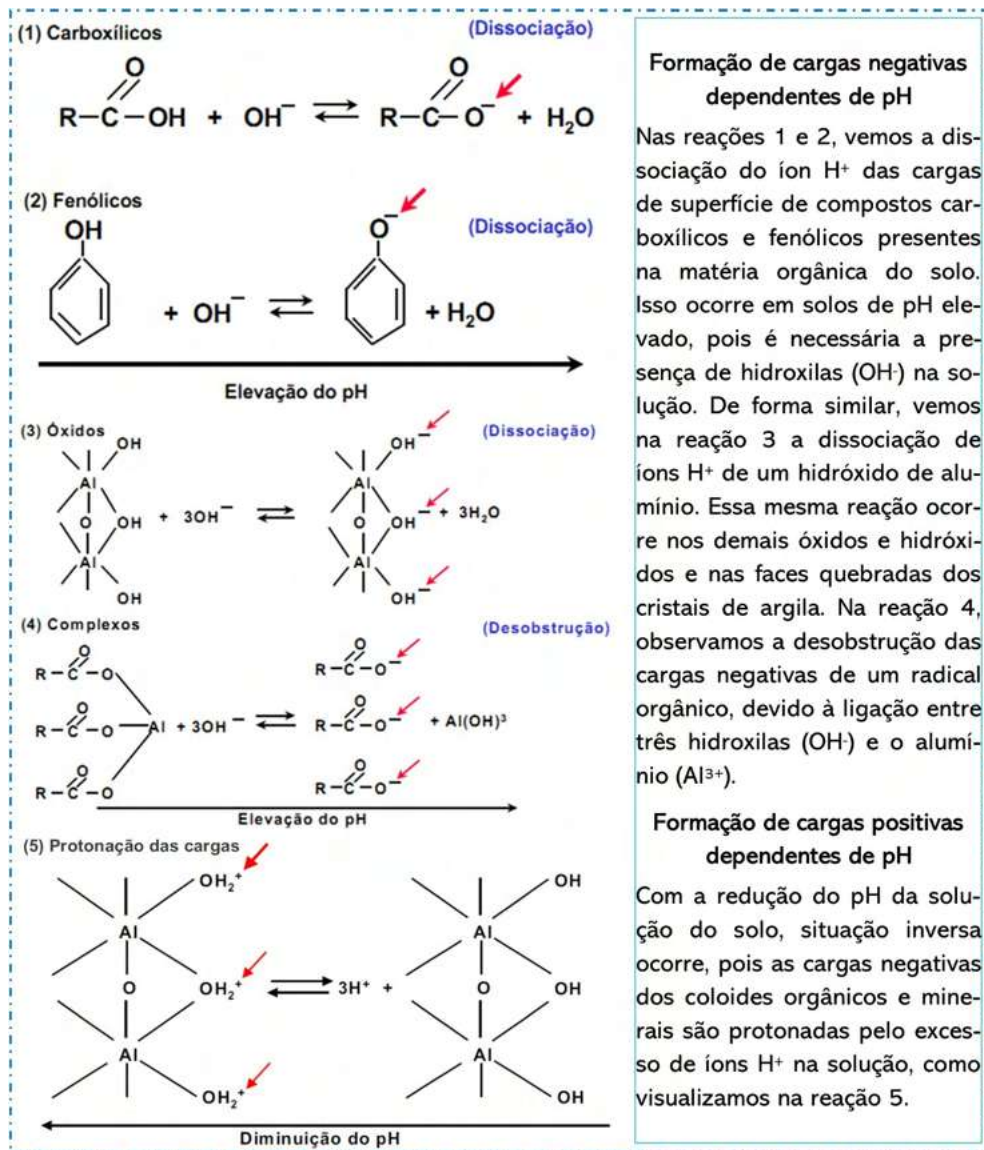
Como vimos na Unidade I, os solos são constituídos pelas fases líquida, gasosa e sólida. A fase sólida é composta por partículas minerais e orgânicas, que quando possuem tamanho diminuto ( $< 0,001$  mm) apresentam caráter coloidal, ou seja, possuem cargas elétricas. Essas cargas são responsáveis pela interação entre as três fases do solo e influenciam características e processos importantes, como fertilidade, estrutura e disponibilidade de água no solo.



📍@petsolos.uesc

As cargas do solo podem ser negativas ou positivas e permanentes ou variáveis. As cargas permanentes são sempre negativas e se originam durante o processo de formação dos minerais secundários, por um processo chamado substituição isomórfica e se

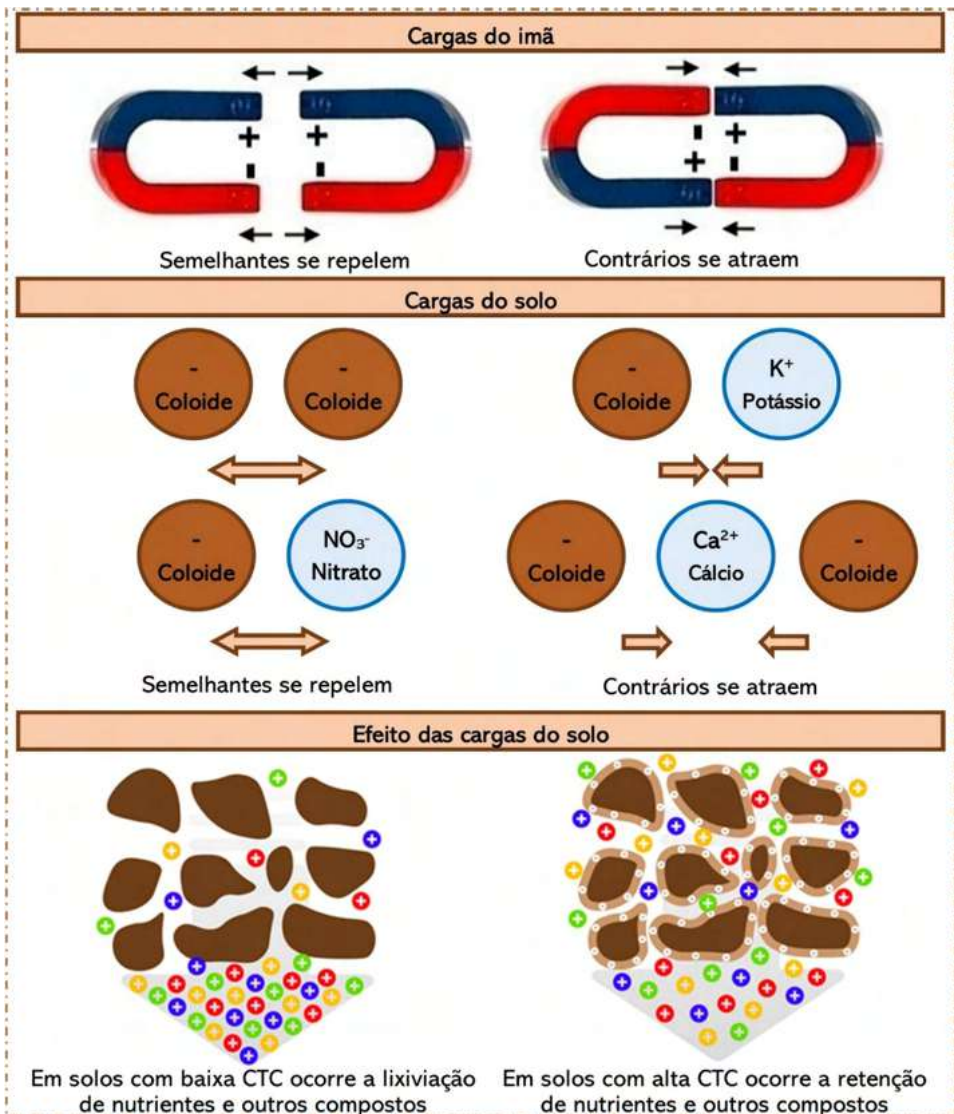
encontram na fração argila do solo. As cargas variáveis podem ser negativas ou positivas, e são originadas nas faces quebradas dos cristais de argila e nas cargas de superfície da matéria orgânica. Essas cargas são variáveis porque dependem do pH do solo, como podemos observar nas reações a seguir.



Adaptado de Lopes (2004).

## Capacidade de troca de íons

A presença de cargas elétricas no solo origina uma outra propriedade, a capacidade de troca de íons, que neste caso não é apenas química, mas físico-química. A soma das cargas negativas dos colóides corresponde à capacidade de troca de cátions (CTC ou T), enquanto a soma das cargas positivas corresponde à capacidade de troca de ânions (CTA). Para compreendermos melhor esses conceitos, podemos pensar nessas cargas como um ímã, onde os opostos se atraem e os iguais se repelem. Assim, solos com predomínio de cargas negativas irão atrair elementos e compostos com cargas positivas e vice-versa.



Adaptado de [EcoHumin](#) e [VERDE blog](#)

Relembrando os conteúdos da Unidade I, sabemos que existem diferentes minerais na fração argila, que podem ser argilominerais do tipo 2:1, 1:1 e oxihidróxidos de ferro e alumínio. Esses minerais possuem cargas elétricas negativas permanentes, porém em diferentes quantidades, sendo que os menos intemperizados possuem maior quantidade desse tipo de carga e os mais intemperizados, menor quantidade. Podemos observar no quadro abaixo essa diferença.

Capacidade de troca de cátions (CTC) dos diferentes minerais presentes na fração argila e da matéria orgânica do solo

Mineral	Exemplos	CTC (cmol <sub>c</sub> /kg)
2:1	Vermiculita	100 a 150
	Montmorilonita	80 a 120
	Ilita	30 a 50
1:1	Haloisita	5 a 10
	Caulinita	3 a 15
Oxihidróxidos	Goethita, hematita e gibbsita	2 a 5
Matéria orgânica humificada	-	100 a 250

Adaptado de Lopes (2004).

A capacidade de troca de íons sofre influência do teor e tipo de argila presente no solo. Quanto maior o teor de argila, maior a capacidade de troca de íons do solo e, quanto maior o teor de minerais de argila pouco intemperizados, maior é a CTC do solo, como vemos no quadro acima. A matéria orgânica também exerce grande influência nesse aspecto, pois a sua CTC é maior do que a dos colóides minerais e, portanto, o aumento dos seus teores no solo leva ao aumento da CTC.

Como vimos acima, o pH do solo também afeta a capacidade de troca de íons, devido à presença de cargas variáveis no solo, assim, quanto mais ácido, mais cargas positivas terá o solo e maior CTA. E essa é uma característica que buscamos evitar na agricultura, pois um solo com elevada CTA terá uma alta taxa de lixiviação de elementos e compostos essenciais para as plantas, como potássio (K<sup>+</sup>), cálcio (Ca<sup>2+</sup>), magnésio (Mg<sup>2+</sup>) e amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e uma alta adsorção de fosfato (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>), tornando-o indisponível para as plantas. Geralmente a camada superficial dos solos possui CTC, devido à presença de matéria orgânica e à prática da calagem. Porém, na subsuperfície de solos altamente intemperizados pode ocorrer a formação da CTA.

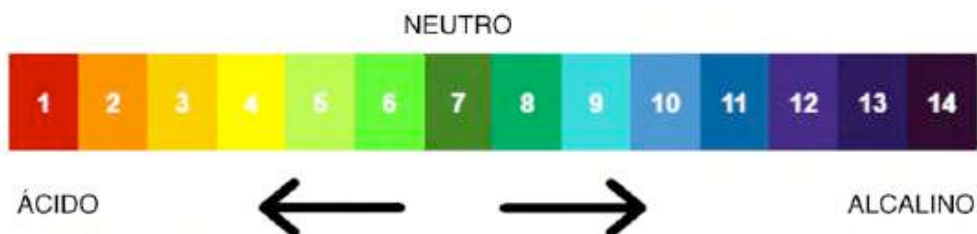
A CTC do solo pode ser subdividida em CTC potencial, também chamada de CTC a

pH 7,0, e CTC efetiva. Essas duas propriedades, geralmente, são determinadas de forma indireta, por meio de cálculo, sendo expressas em  $\text{cmol}_c/\text{kg}$  ou  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$ . A soma dos teores de  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  do solo resulta na CTC potencial, ou seja, aquela CTC que podemos alcançar se corrigirmos a acidez do solo, enquanto a CTC efetiva é obtida pela soma de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$  e corresponde à CTC do solo no seu pH atual. Portanto, a CTC efetiva será menor que a CTC potencial se o pH do solo for menor que 7,0.

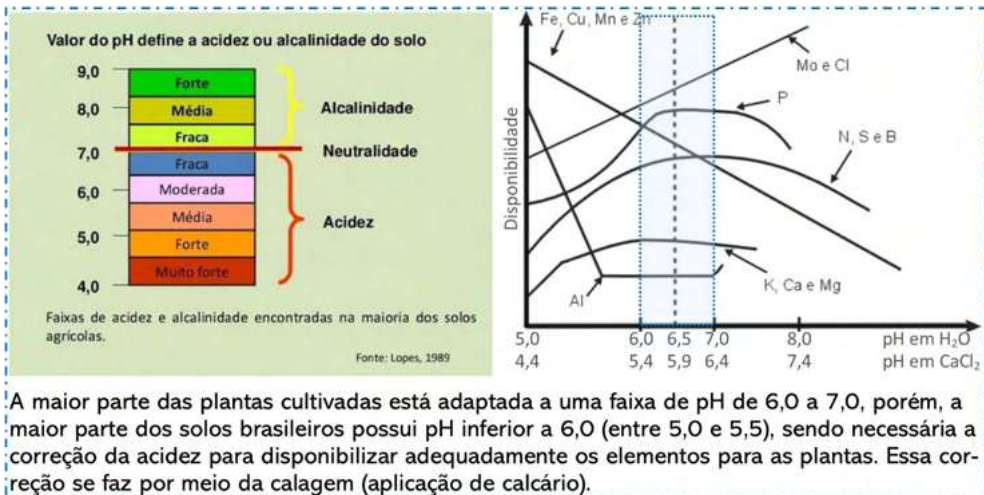
### *Acidez do solo*

A acidez do solo é um fator muito importante a ser estudado pois influencia a nutrição das plantas e as demais características químicas, físicas e biológicas do solo. A acidez do solo pode ser dividida em acidez ativa e acidez potencial e esta, por sua vez, em acidez trocável e acidez não trocável.

Vamos iniciar pela acidez ativa, que é aquela que se refere à parte do hidrogênio que está dissociada, ou seja, na solução do solo na forma íons de  $\text{H}^+$ , e é expressa em valores de pH. Abaixo, observamos uma escala de pH que varia de 0 a 14. Quimicamente, uma substância de pH 7 é neutra; aquela com pH abaixo de 7 é considerada ácida e com com pH acima de 7 é considerada básica ou alcalina.



No solo temos uma abrangência de pH 3 a 9, porém os valores intermediários são os mais comuns. O pH é determinado em água destilada ou deionizada, usando-se uma relação solo:água de 1:2,5, ou seja, para 10 g de solo, adiciona-se 25 mL de água. Após agitação de 1 min e repouso de 1 h, mede-se o pH através da imersão de um eletrodo de vidro ligando a um potenciômetro. Podem ser usadas também soluções salinas, como o KCl (1 mol/L) e  $\text{CaCl}_2$  (0,01 mol/L). Na figura a seguir vemos a classificação agrônômica do pH do solo.



A maior parte das plantas cultivadas está adaptada a uma faixa de pH de 6,0 a 7,0, porém, a maior parte dos solos brasileiros possui pH inferior a 6,0 (entre 5,0 e 5,5), sendo necessária a correção da acidez para disponibilizar adequadamente os elementos para as plantas. Essa correção se faz por meio da calagem (aplicação de calcário).

👉@agrobrasil.agricultura

👉 Moreira et al. (2008)

A partir dos resultados do pH em água (pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>) e do pH em KCl (pH<sub>KCl</sub>), podemos calcular o delta pH ( $\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ), que se relaciona com o balanço de cargas elétricas no solo. Logo, quando o  $\Delta\text{pH}$  é negativo (pH<sub>KCl</sub> < pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>) predominam cargas negativas no solo; quando  $\Delta\text{pH}$  é positivo (pH<sub>KCl</sub> > pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>) predominam cargas positivas; e quando o  $\Delta\text{pH}$  é nulo (pH<sub>KCl</sub> = pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>) o número de cargas negativas e positivas são iguais (ponto de carga zero, ou PCZ). Essa é uma medida fácil e rápida que podemos utilizar para saber se o solo possui CTC (cargas negativas) ou CTA (cargas positivas).

Observamos, portanto, que o pH do solo é um importante indicador da fertilidade do solo, pois está relacionado com o balanço de cargas e dos elementos químicos, estando diretamente relacionado com a disponibilidade dos elementos às plantas. E como podemos ver na figura a seguir, a acidez ativa do solo está diretamente relacionada com a eficiência agrônômica do uso de fertilizantes.

Os íons H<sup>+</sup> da solução do solo (acidez ativa), geralmente, se encontram em concentrações baixas. Portanto, apenas alguns quilos de calcário seriam suficientes para neutralizar acidez ativa. Porém, ainda temos outros componentes da acidez do solo, que se referem aos íons H<sup>+</sup> e Al<sup>3+</sup> adsorvidos nas cargas dos colóides, que são os responsáveis pela maior necessidade de calcário durante a calagem.

**Assimilação dos nutrientes pelas plantas e perda dos fertilizantes em função da acidez do solo.**

ACIDEZ	N	P	K	Ca	Mg	PERDA
4.5 pH						71.34%
5.0 pH						53.67%
5.5 pH						32.69%
6.0 pH						19.67%
7.0 pH						00.0%

**SOLO FÉRTIL**

Fonte: PNFC (1974); EMBRAPA (1980)  
Ilustração: Autoria desconhecida

Um dos principais prejuízos causados pela acidez elevada do solo é a baixa assimilação dos nutrientes disponíveis e, conseqüentemente, a baixa eficiência dos fertilizantes aplicados.

Observe como a assimilação da maioria dos nutrientes só se torna satisfatória quando o pH se encontra acima de 6,0. Estima-se que nesse pH a perda dos nutrientes aplicados via adubação fica próxima de 19,67%, enquanto em pH 5,0, a perda gira em entorno de 53,67%. Isso significa que de 100 kg de nutrientes aplicados e teoricamente com sua máxima assimilação possível (lembrando que mesmo nas condições ideais a absorção total dos nutrientes aplicados nunca é 100%), 46,33 kg vai para o lençol freático (lixiviação), para a atmosfera (volatilização) ou simplesmente fica indisponível (imobilização ou precipitação), dependendo do nutriente.

**A mensagem é clara: para adubar com eficiência a acidez deve estar corrigida!**

👉 @solo.fertil

A acidez trocável, medida em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  ou  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ , se refere ao teor de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) e de hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) trocáveis e adsorvidos nas superfícies dos coloides minerais ou orgânicos, por forças eletrostáticas. Esse tipo de acidez é extraída com KCl 1N (não tamponado). Como existe muito pouco  $\text{H}^+$  trocável em solos minerais, a acidez trocável e o alumínio trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) são considerados como equivalentes. Por isso, vimos acima que a CTC efetiva é considerada a soma de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$ . Porém, atenção especial deve ser dada a solos orgânicos, pois eles apresentam altos níveis de  $\text{H}^+$  trocável.

Como o  $\text{Al}^{3+}$  é tóxico às plantas, a acidez trocável do solo é também conhecida como acidez nociva, e apresenta efeito prejudicial ao desenvolvimento normal da maior parte das culturas agrícolas. A porcentagem de  $\text{Al}^{3+}$  que está ocupando as cargas negativas do solo, é um importante indicador de fertilidade do solo e, pode ser calculada da seguinte forma:

1º Determina-se a CTC efetiva do solo

$$\text{CTC efetiva (cmol}_c/\text{kg ou cmol}_c/\text{dm}^3) = \text{Al}^{3+} + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+$$

2º Determina-se a saturação da CTC pelo  $\text{Al}^{3+}$  (m)

$$m (\%) = \text{Al}^{3+} \times 100 / \text{CTC efetiva}$$

Valores iguais ou superiores a 20% de saturação por alumínio são considerados prejudiciais às culturas agrícolas. Para eliminar o efeito nocivo do  $\text{Al}^{3+}$  é realizada a correção do solo, por meio da calagem (aplicação de calcário) e/ou da gessagem (aplicação de gesso agrícola), como veremos na Unidade IV.

A acidez não trocável, também medida em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  ou  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ , consiste no teor de íons  $\text{H}^+$  em ligação covalente (mais difícil de ser rompida) com as frações orgânicas e minerais do solo. Ela é determinada pela quantidade de acidez titulável que ainda permanece no solo, após a remoção da acidez trocável com uma solução de  $\text{KCl}$  1N (não tamponado).

Como a acidez não trocável está retida com muita força na superfície dos coloides, ela não possui efeito negativo ao crescimento vegetal, embora, em certas situações, doses mais elevadas de calcário, que a neutralizem total ou parcialmente, possam apresentar efeitos benéficos adicionais.

### ACIDEZ ATIVA E POTENCIAL DO SOLO

**Fase sólida**

Ca  
Al  
H  
Al  
H  
COO  
H  
Fe  
Al  
H

Acidez trocável Al  
+  
Acidez não trocável H  
↓  
Acidez potencial H + Al

**Fase líquida**

Al<sup>3+</sup>  
Ca<sup>2+</sup>  
H<sup>+</sup>  
pH

Acidez ativa

Parece ser a mesma coisa, mas não é!

A acidez ativa refere-se à concentração dos íons  $\text{H}^+$  na solução do solo, e a sua medida é expressa pelo índice pH, que é igual ao logaritmo negativo da concentração molar de  $\text{H}^+$  na solução.

Por mais ácido que o solo seja, é extremamente fácil corrigir a acidez ativa. Bastariam alguns quilos de calcário por hectare.

À medida que se neutralizam os íons  $\text{H}^+$  na solução do solo (acidez ativa), a fase sólida direta ou indiretamente libera  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  que estavam adsorvidos nos coloides. Esses caracterizam a acidez potencial.

👉 @janderson.agro

A acidez não trocável é obtida indiretamente, por meio de cálculo, subtraindo-se da acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) o valor da acidez trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ), sendo expressa em  $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$  ou  $\text{cmol}_c/\text{kg}$ . Um ponto relevante é que a acidez não trocável é uma estimativa das cargas negativas passíveis de serem liberadas a pH 7,0, em decorrência da metodologia utilizada. É, portanto, um parâmetro que interage intimamente com a CTC do solo. E, por isso, vimos anteriormente que a CTC potencial (CTC a pH 7,0) é determinada pela soma de  $\text{H}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Na}^+$ .

Como técnicos, além de saber medir e avaliar a acidez do solo, é importante conhecer os fatores que afetam e que geram essa acidez. O material de origem é o primeiro fator que afeta a acidez do solo, pois os solos formados a partir de rochas básicas (calcários, basaltos, gabros etc.), geralmente possuem valores de pH mais altos do que aqueles formados de rochas ácidas (granito, arenito, quartzito etc.).

Um solo se acidifica naturalmente com a lixiviação dos cátions básicos devido a

intensas chuvas, portanto, solos ácidos são mais comuns em regiões tropicais e subtropicais úmidas. A decomposição da matéria orgânica em solos com pH acima de 5,2 também leva à acidificação dos solos.

Em áreas agrícolas, a remoção intensa das bases ( $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Na^+$ ) do solo pelas colheitas, sem a devida reposição, e a adubação nitrogenada são os principais fatores responsáveis pela acidificação do solo. Os adubos nitrogenados, principalmente os amoniacais e a ureia, liberam íons  $H^+$  para a solução durante a sua reação no solo. Assim, quanto maior a produtividade das culturas e mais pesada for a adubação, mais frequente deve ser a correção da acidez do solo.

### *Bases do solo*

Vimos que o solo possui cargas elétricas negativas, cuja soma é chamada de CTC, e que estão ocupadas, em parte, por íons  $H^+$  e  $Al^{3+}$ , que compõem a acidez potencial do solo. A outra parte, portanto, está ocupada pelos cátions básicos do solo, potássio ( $K^+$ ), cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ) e sódio ( $Na^+$ ). Essas bases são elementos essenciais às plantas ou benéficos, no caso do sódio (Na). Portanto, a porcentagem da CTC ocupada por essas bases é um importante indicador de fertilidade do solo e, pode ser calculada da seguinte forma:

1º Determina-se a CTC potencial do solo

$$CTC \text{ potencial (cmol}_c\text{/kg ou cmol}_c\text{/dm}^3\text{)} = H^+ + Al^{3+} + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+$$

2º Determina-se a soma de bases (SB)

$$SB \text{ (cmol}_c\text{/kg ou cmol}_c\text{/dm}^3\text{)} = K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+$$

3º Determina-se a saturação da CTC pelas bases (V)

$$V \text{ (\%)} = SB \times 100 / CTC \text{ potencial}$$

Se a porcentagem de energia da sua bateria fosse a **Saturação por Bases (V%)** de um solo...

Nessa publicação, o perfil @solo.fertil faz a comparação da CTC do solo com uma bateria, sendo que a porcentagem de carga dessa bateria corresponde à saturação por bases do solo (V%).

A maior parte das culturas agrícolas requer para o seu bom desenvolvimento, saturação por bases de 50 a 60%. Algumas mais exigentes podem chegar a requerer saturação por bases de 70% e outras menos exigentes podem exigir de 40 a 45%.

É importante aqui observar que a saturação por bases é um valor percentual da CTC do solo, portanto, em solos de baixa CTC uma alta saturação por bases pode não ser indicativo de elevada fertilidade.

Qual seria a classificação dela?

👉 @solo.fertil

### Atividade de argila

A atividade de argila (t) refere-se à capacidade de troca de cátions (CTC) correspondente à fração argila, sendo calculada da seguinte forma:

$$t = \text{CTC} \times 1000 / \text{teor de argila (g/kg)}$$

ou

$$t = \text{CTC} \times 100 / \text{teor de argila (\%)}$$

Solos com  $t \geq 27 \text{ cmol}_c/\text{kg}$  de argila são considerados de atividade alta, enquanto solos com  $t < 27 \text{ cmol}_c/\text{kg}$  de argila são considerados de atividade baixa.

Essa propriedade influencia o comportamento físico-hídrico dos solos, afetando a retenção de água e de nutrientes. Também é responsável por parte dos processos de coesão e adesão das partículas dos solos que afetam sua consistência, característica esta, muito importante para o manejo do solo, principalmente quanto ao uso de máquinas e implementos no momento do preparo.

Nos solos de atividade alta, com presença de esmectitas, vermiculitas e montmorilonita, verificam-se movimentos de contração e de expansão, que podem causar a formação de fendas e superfícies de compressão quando secos, e micro relevos quando úmidos. Veja o vídeo [Argila expansiva para \(re\)conhecer esse processo!](#) Esses solos são de elevada fertilidade, porém apresentam dificuldades no preparo mecanizado, por serem pesados e pegajosos. Por outro lado, os solos de atividade baixa, com predomínio de caulinita e oxihidróxidos de ferro e alumínio, possuem boas condições para o preparo mecanizado e baixa fertilidade natural.

### 1.3 Processos e propriedades biológicas do solo

Como vimos na Unidade I, o solo contém obrigatoriamente matéria orgânica, organismos vivos e é capaz de sustentar a vegetação natural do ambiente no qual está inserido. Há uma grande diversidade de organismos vivos que praticam atividades no solo, como: bactérias, fungos, algas e animais que variam de protozoários a mamíferos. Graças a esses organismos, que desempenham papel importante na sustentabilidade dos ecossistemas, o solo está em constante evolução. Logo, são vários os processos e as propriedades biológicas do solo. Vamos estudar aqui aqueles mais importantes para uso agrícola dos solos.

#### *Biota do solo*

Conceitualmente, a fração viva do solo é constituída de organismos que vivem no solo em pelo menos uma fase do seu ciclo de vida e pode ser dividida em fauna e microbiota do solo. No quadro a seguir, vemos a classificação dos organismos do solo e as suas principais características e funções ecossistêmicas.

Classificação e funções dos organismos do solo

Classificação	Definição	Composição	Funções
Macrofauna	Conjunto de organismos invertebrados (animais sem coluna vertebral) que vivem no solo em pelo menos uma fase do seu ciclo de vida e possuem o diâmetro do corpo maior que 2 mm.	Minhocas, cupins, formigas, besouros, percevejos, vespas, piolhos de cobra, aranhas, vespas etc.	- Trituração e decomposição da matéria orgânica; - ciclagem de nutrientes; - estruturação do solo; - equilíbrio biológico (predação de outros organismos).
Mesofauna	Conjunto de pequenos seres vivos invertebrados que habitam o solo e apresentam tamanho corporal entre 0,2 e 2,0 mm.	Ácaros e colêmbolos.	- Trituração e decomposição da matéria orgânica; - ciclagem de nutrientes; - equilíbrio biológico (predação de outros organismos).
Microfauna	Conjunto de organismos invertebrados microscópicos que se encontram no solo, cujo tamanho é inferior a 0,2 mm de diâmetro.	Protozoários, nematoides e rotíferos.	- Decomposição da matéria orgânica; - ciclagem de nutrientes; - equilíbrio biológico (predação e parasitismo de outros organismos).

Microbiota	Conjunto de organismos microscópicos que habitam o solo.	Bactérias, fungos, actinomicetos, algas e vírus (que se desenvolvem no interior de células vivas de outros organismos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Decomposição da matéria orgânica;</li> <li>- ciclagem de nutrientes;</li> <li>- fixação biológica de nitrogênio;</li> <li>- solubilização de fosfatos;</li> <li>- estruturação do solo;</li> <li>- promoção de crescimento de plantas;</li> <li>- indução da defesa das plantas;</li> <li>- equilíbrio biológico (parasitismo, antibiose, competição por recursos);</li> <li>- biorremediação.</li> </ul>
------------	--	--	--

A seguir vamos estudar os principais processos biológicos do solo que favorecem o desenvolvimento das plantas e promovem a melhoria da qualidade do solo. Esses processos (com exceção da decomposição da matéria orgânica) acontecem, principalmente, em uma zona denominada rizosfera. Portanto, vamos primeiro conhecer esse termo.

### *Rizosfera*

A rizosfera pode ser definida como a região do solo que é influenciada pela raiz da planta. A planta, através das raízes, exsuda compostos que são ricos em carbono e nutrientes, que atraem a microbiota do solo. Assim, a atividade biológica do solo é muito maior em torno da raiz do que longe dela.

A relação dos microrganismos que habitam a rizosfera com as plantas pode ser neutra, benéfica ou prejudicial. Porém, em ambiente equilibrado existem muito mais organismos benéficos à planta, do que danosos.

### Características da rizosfera

O primeiro ponto importante da caracterização da rizosfera é sua delimitação física, que tem como regra uma estimativa de ocorrência em valores entre 2 e 3 milímetros, mas oscila de acordo com o estágio de desenvolvimento vegetal, e até mesmo com a atividade radicular das plantas.

Alguns autores buscam dividir a rizosfera em três frações, descritas como a endorizosfera (porção mais interna, que inclui o córtex e a endoderme), o rizoplane (a superfície limitrofe entre a raiz e o solo), e a ectorizosfera (área externa da raiz que se estende para fora do rizoplane). No entanto, essa diferenciação e amostragem diferencial é muito complexa na prática.

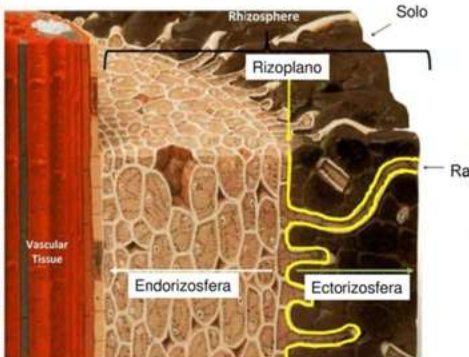


Figura: Estrutura das raízes.

Fonte: Modificado de McNear Jr., 2013

A rizosfera apresenta características físicas, químicas e biológicas distintas de outras regiões do solo. Por exemplo:

- alterações na estrutura do solo, pelo adensamento e umidade diferenciada;
- pH geralmente mais ácido que os solos não rizosféricos;
- menor concentração de oxigênio;
- maior concentração de dióxido de carbono;
- maior concentração de nutrientes, principalmente carbono.

Esta variação das características em relação ao solo não rizosférico torna a rizosfera um ambiente único, e portanto seletivo à vida microbiana.

Maestrovirtuale.com

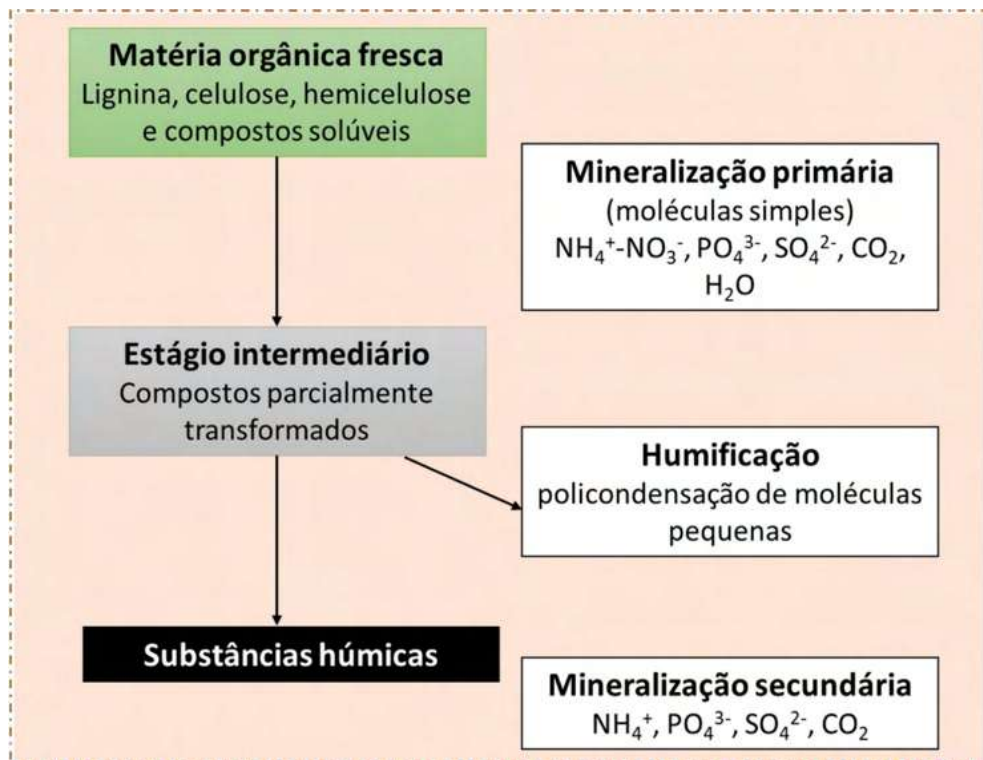
### Decomposição da matéria orgânica

O complexo processo de decomposição da matéria orgânica é influenciado principalmente pelas condições climáticas, pela riqueza de microrganismos presentes no solo e pelo tipo de material a ser decomposto. A decomposição pode ocorrer de forma natural, com a deposição dos resíduos vegetais em solos florestais ou de cultivos anuais, por exemplo, ou de forma controlada, como na compostagem aeróbia e anaeróbia.

A transformação da matéria orgânica em um ambiente aerado ocorre por meio de dois processos simultâneos:

- 1) mineralização, que acontece pela quebra dos compostos mais polimerizados (lignina, celulose, hemicelulose etc.), que transforma parcialmente o material e libera compostos solúveis (forma disponível às plantas). Nessa etapa, a microbiota usa o carbono como fonte de energia e, portanto, os elementos que estão ligados às cadeias de carbono (compostos orgânicos) são liberados como moléculas simples na forma mineral (inorgânica). Cerca de 80% do material orgânico inicial é perdido

na forma de  $\text{CO}_2$  e água durante a mineralização. Esse processo é dividido em mineralização primária e secundária, como vemos no esquema a seguir:



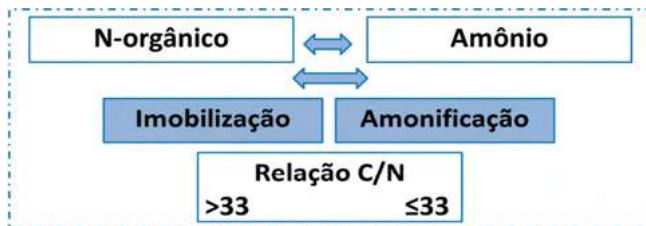
2) Humificação, que consiste no processo de policondensação de moléculas pequenas, tornando-as mais complexas e mais arranjadas, ou seja, aqueles compostos parcialmente transformados pela mineralização primária se reorganizam em polímeros orgânicos. Essas cadeias de carbono reorganizadas contêm anéis aromáticos com duplas ligações, que as tornam mais estáveis em relação à matéria orgânica não humificada (não decomposta). Assim, são formadas as substâncias húmicas, que podem ser identificadas como o material de aspecto escuro presente no solo, como vemos no esquema apresentado anteriormente. Essas substâncias são classificadas quimicamente em humina, ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, e como são mais resistentes à decomposição microbiana (mineralização secundária) são responsáveis por 85 a 90% da reserva total de carbono do solo.

**Importante:** o processo de mineralização é responsável pela disponibilização dos elementos para as plantas, uma vez que a planta não absorve o elemento na sua forma orgânica, mas sim na forma mineral; já o processo de humificação é importante para promover o sequestro de carbono no solo, pois o carbono é aprisionado em moléculas de difícil decomposição, como a humina e os ácidos húmicos, e acumulado no solo, retirando-o da atmosfera.

### Amonificação

Processo de decomposição da matéria orgânica, realizado principalmente por bactérias e fungos, que utilizam esse material (orgânico) como fonte de energia e liberam o nitrogênio em forma de amônio (inorgânico). Assim, a amonificação também pode ser chamada de “mineralização do nitrogênio orgânico”. O processo inverso, ou seja, quando os microrganismos absorvem o nitrogênio que já está na forma mineral e o usam para compor seu organismo, é chamado de imobilização.

Um importante fator que controla os processos de amonificação e imobilização é a relação C/N (carbono:nitrogênio) do material orgânico. A relação C/N de 33/1 é usada como valor limiar, sendo que valores maiores a 33/1 propiciam a imobilização do nitrogênio, enquanto valores iguais ou menores que 33/1 favorecem a amonificação, como podemos ver no esquema a seguir.



A relação C/N e os processos de amonificação e imobilização são aspectos importantes, pensando na adubação orgânica. Palhada de gramíneas (família Poaceae), como milho, milheto, capins etc. possuem alta relação C/N e palhada de leguminosas (família Fabaceae), como soja, feijão, crotalaria etc. possuem baixa relação C/N. Por isso, é recomendado intercalar o cultivo de gramíneas e leguminosas. Observe no quadro a relação C/N de alguns resíduos orgânicos.

### Relação carbono/nitrogênio (C/N) de alguns resíduos vegetais

Resíduo	Relação C/N
Casca de arroz	39/1
Casca de cacau	38/1
Casca de café	53/1
Crotalaria juncea	26/1
Feijão-de-porco	19/1
Feijão guandu	29/1
Folhas de bananeira	19/1
Palhada de milho	112/1
Palhada de trigo	70/1
Sabugo de milho	101/1
Serragem de madeira	865/1

Adaptado de Lopes (2004).

### Nitrificação

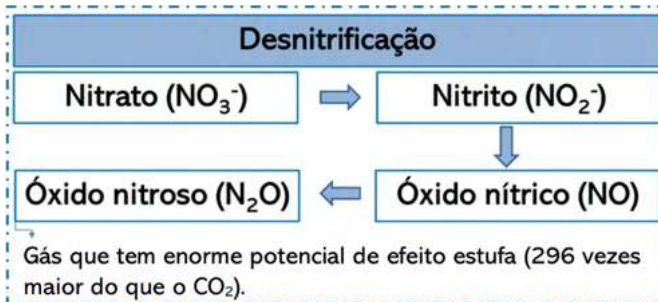
Processo realizado por bactérias conhecidas como nitrificantes, que é dividido em duas etapas: 1) nitrosação – consiste na reação de oxidação do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), transformando-o em nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e é realizada por bactérias do gênero *Nitrosomonas*; e 2) nitratação – oxidação do nitrito em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), realizada por bactérias do gênero *Nitrobacter*. A nitratação é mais rápida que a nitrosação e, assim, não ocorre o acúmulo de nitrito no solo, que é uma forma de nitrogênio tóxica para muitos organismos.

As plantas absorvem o nitrogênio tanto na forma de amônio, quanto de nitrato. Porém, em ambientes aeróbios o processo de nitrificação é muito rápido e tanto o amônio que provém da matéria orgânica (pelo processo de amonificação), quanto o amônio solubilizado dos fertilizantes (como a ureia e o sulfato de amônio) são rapidamente convertidos a nitrato, que é uma forma mais móvel de nitrogênio no solo. A nitrificação favorece, portanto, as perdas por lixiviação de nitrogênio, como podemos ver na figura acima. Assim, foram desenvolvidos fertilizantes estabilizados, no qual a ureia é tratada com aditivos inibidores da nitrificação, que são moléculas tóxicas às bactérias do gênero *Nitrosomonas*.



### Desnitrificação

As bactérias desnitrificantes (*Pseudomonas denitrificans*), na ausência de oxigênio, usam o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) para oxidar compostos orgânicos e assim transformam o nitrato, que é uma forma de nitrogênio disponível às plantas, em gás que é uma forma de nitrogênio indisponível às plantas. Esse processo é prejudicial tanto no âmbito econômico quanto ambiental, principalmente, em solos deficientes em oxigênio (alagados ou compactados), pois ao aplicar os fertilizantes, os compostos à base de nitrato são desnitrificados, perdendo grande parte de nitrogênio do solo para a atmosfera.



### Promoção de crescimento de plantas

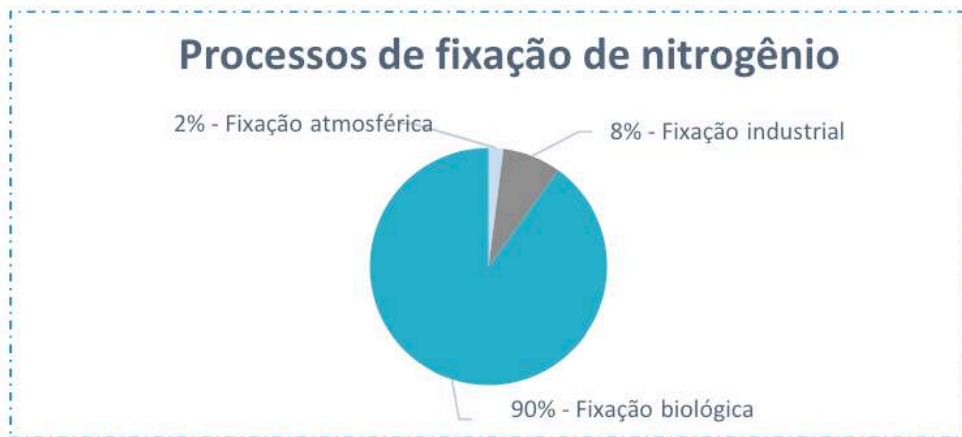
Na rizosfera é encontrada uma vasta diversidade de microrganismos e muitos deles promovem o crescimento das plantas, através de processos diretos, como a fixação biológica de nitrogênio, a solubilização de fosfatos e a fitoestimulação; e indiretos, como maior absorção de água e nutrientes, indução da defesa da planta e rizorremediação.

A princípio foi utilizado para esses organismos o termo rizobactérias promotoras de crescimento de plantas com a sigla RBPCP, porém nós aqui usaremos o termo microrganismos promotores de crescimento de plantas conhecidas, pois não falaremos apenas de bactérias, mas também de fungos.

## Fixação biológica de nitrogênio

A maior reserva de nitrogênio é o ar, cerca 78% da nossa atmosfera é composta por esse elemento, que se encontra na forma de  $N_2$ . Essa molécula é formada por uma tripla ligação covalente, portanto, é muito difícil de ser quebrada e as plantas não conseguem absorvê-la. Assim, para que o nitrogênio entre no sistema solo planta ele precisa ser fixado em outra forma e, isso ocorre por meio de três processos:

- 1) Fixação atmosférica, na qual as descargas atmosféricas (raios) quebram a tripla ligação do  $N_2$  e a chuva leva o nitrogênio para o solo;
- 2) Fixação industrial, conhecida como método Haber Bosch, consiste na produção industrial dos fertilizantes nitrogenados a partir de nitrogênio atmosférico; e
- 3) Fixação biológica de nitrogênio (FBN), processo realizado por bactérias diazotróficas, que possuem uma enzima chamada nitrogenase que é capaz de romper a tripla ligação do  $N_2$  e transformá-lo em amônia ( $NH_3$ ).



A FBN pode ser realizada por microrganismos de vida livre, simbiotes ou associativos. Para a agricultura, esses dois últimos são os mais importantes. As plantas da família Fabaceae (soja, feijão, amendoim, crotalária etc.), também conhecida como leguminosa, estabelecem simbiose com um grupo de bactérias chamadas de rizóbios, e formam nas raízes estruturas especializadas em fixar nitrogênio, os nódulos, que possuem tecido de planta e de bactéria.

Os nódulos abrigam uma proteína chamada leghemoglobina, que facilita a difusão do gás  $O_2$  utilizado na respiração do bacterióide sem afetar a enzima nitrogenase, que se desnatura na presença de  $O_2$ .

Assim, é importante verificar a eficiência do processo, logo no início (15 a 25 dias após a emergência), averiguando o porte e coloração das plantas, a presença de nódulos na raiz e a cor dos nódulos. Ao lado vemos uma planta de soja com 46 dias após a emergência e seus nódulos →



Fotos de João Henrique Nicola Gervásio (2021)



Foto de João Henrique Nicola Gervásio (2021)

A leghemoglobina confere uma coloração rósea aos nódulos, portanto, cortá-los e observar a sua cor é uma boa forma de verificar se eles estão ativos.

Abaixo, vemos o sistema radicular do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*) no estágio fenológico R5 e em destaque os nódulos.

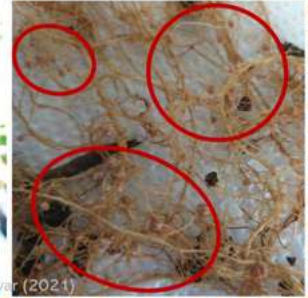
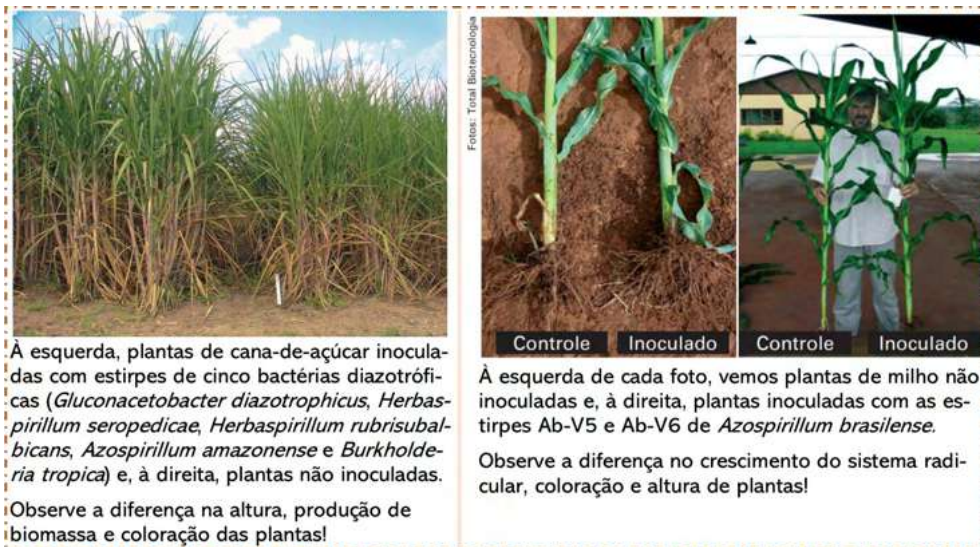


Foto de Celina Martins Almeida (2021)

As plantas da família Poaceae (capins, milho, milheto, trigo, arroz etc.), também conhecida como gramínea, estabelecem associação mutualística com bactérias diazotróficas, porém sem formar a simbiose e, portanto, os nódulos. As bactérias podem habitar a rizosfera ou o interior dos tecidos da planta e são chamadas de associativas facultativas e associativas obrigatórias, respectivamente.

A seguir, vemos fotos de experimentos com a inoculação de bactérias diazotróficas em cana-de-açúcar e milho.



👉 Revista Pesquisa Fapesp    👉 Hungria (2011)

Seja em simbiose ou em associação, as bactérias usam o carbono disponibilizado pelas plantas como fonte de energia e, em troca, fornecem o nitrogênio em forma de amônia, que é convertida rapidamente pela planta em amônio e, posteriormente, em compostos orgânicos, como aminoácidos, proteínas, ácidos nucléicos etc.

De posse desse conhecimento, que aliás, devemos em grande parte a uma pesquisadora naturalizada brasileira, a Dra. Johanna Döbereiner (veja o vídeo 👉 A brasileira que revolucionou a agronomia mundial: Johanna Döbereiner para saber mais!), foram desenvolvidos produtos chamados inoculantes, que consistem em um veículo para inocular microrganismos nas culturas agrícolas. Assim, são selecionadas, para as diferentes culturas, espécies e estirpes de bactérias eficientes em fixar nitrogênio, e em seguida são produzidos e comercializados os inoculantes.

Com a inoculação, a redução na adubação nitrogenada varia de 30 a 50% para diversas culturas, com exceção da soja e da cana-de-açúcar, que possuem alta eficiência no processo e podem dispensar totalmente essa adubação. Infelizmente os inoculantes comerciais existentes abarcam apenas 1% das estirpes que possuem resultados de pesquisa positivos.

Em Rondônia, a obtenção do nitrogênio pela FBN é muito importante, pois o custo do transporte encarece os adubos. Considerando a necessidade de nitrogênio para a cultura da soja, a produtividade atual em Rondônia e o custo atual da ureia no Cone Sul do estado (dezembro de 2021), observamos que a quantidade de adubo mineral necessária

para cultivar 1 ha de soja custaria cerca de R\$ 3.434,00, enquanto o inoculante custa de R\$ 6 a 14 por hectare.

Além da relevância econômica, o uso da FBN na agricultura também é uma prática conservacionista, pois a fixação industrial do nitrogênio para a produção de adubos demanda muita energia, que é obtida de combustíveis fósseis, possuindo elevado impacto ambiental.

Agronomicamente, podemos nos favorecer da FBN não só com a cultura que foi inoculada, mas também podemos manter a palhada desta cultura na área, que ao sofrer o processo de mineralização fornecerá nitrogênio para a cultura posterior. Mais uma vez, vemos a importância da prática de rotação de culturas para o desenvolvimento da agricultura sustentável.

É importante observar que a relação entre bactérias diazotróficas e plantas possui especificidade e, portanto, para cada cultura existem estirpes recomendadas, que são registradas no MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), como podemos verificar no quadro a seguir.

Espécies e estirpes de bactérias diazotróficas recomendadas para diferentes culturas com registro no MAPA

Nome comum	Nome científico	Cepas autorizadas (SEMIA)	Gênero/espécie
Amendoim	<i>Arachis hypogaea</i>	6144	<i>Bradyrhizobium</i> sp.
Estilosantes	<i>Stylosanthes spp.</i>	6154	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
Feijão	<i>Phaseolus vulgaris</i>	4077; 4080	<i>Rhizobium tropici</i>
Feijão caupi	<i>Vigna unguiculata</i>	6461	<i>Bradyrhizobium</i> sp.
Feijão guandu	<i>Cajanus cajan</i>	6157	<i>Bradyrhizobium</i> sp.
Soja	<i>Glycine max</i>	5079; 5080	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>
		587; 5019	<i>Bradyrhizobium elkanii</i>
Arroz	<i>Oriza sativa</i>	Ab-V5; Ab-V6	<i>Azospirillum brasilense</i>
Milho	<i>Zea mays</i>	Ab-V4; Ab-V5; Ab-V6	<i>Azospirillum brasilense</i>
Trigo	<i>Triticum spp</i>	Ab-V1; Ab-V5; Ab-V6; Ab-V8	<i>Azospirillum brasilense</i>

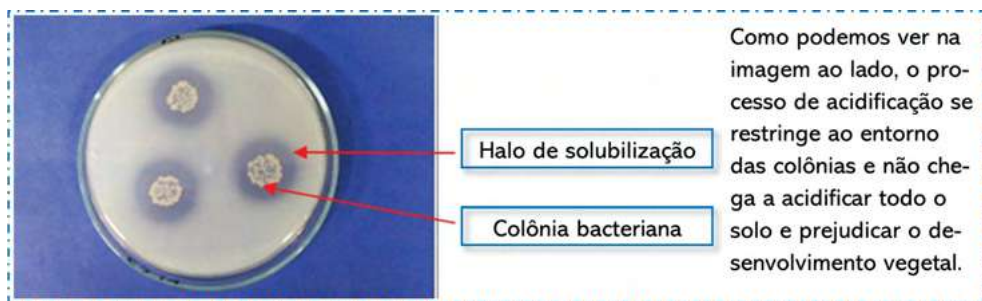
Para informações sobre mais espécies acesse [👉 Instrução Normativa SDA/MAPA 13/2011](#)

É fundamental fornecer as quantidades adequadas de fósforo, cálcio, enxofre, ferro, molibdênio e cobalto para as plantas, pois todos estes elementos estão envolvidos no processo de FBN. Além disso, é de fundamental importância não realizar adubação nitrogenada de plantio ou semeadura (conhecida como dose de arranque), pois a presença do nitrogênio em formas disponíveis no solo prejudica o processo de simbiose ou associação entre planta e bactérias diazotróficas.

### *Solubilização de fosfatos*

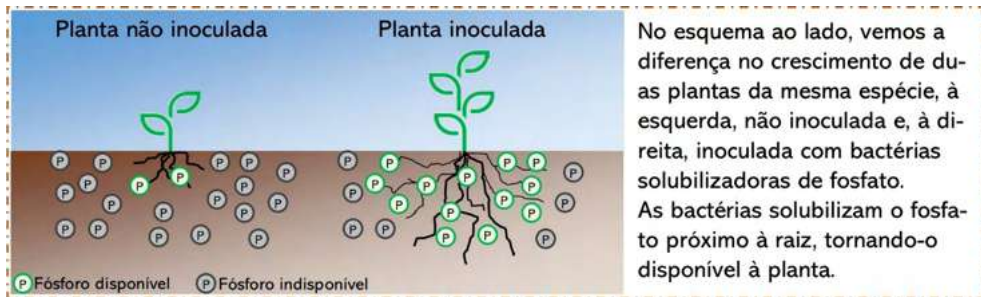
O fósforo é um elemento essencial às plantas, exigido em grandes quantidades nas adubações, devido a sua facilidade de se tornar indisponível. As formas solúveis de fósforo aplicadas no solo por meio dos adubos são rapidamente convertidas em formas insolúveis (indisponíveis às plantas), devido ao processo de adsorção aos coloides (principalmente em solos de textura média e argilosa) e à precipitação com os elementos ferro e alumínio em solos de pH ácido e cálcio em solos de pH básico (trataremos desse tema com maior profundidade na Unidade IV).

No solo existe, portanto, uma grande quantidade de fósforo, porém, de forma indisponível para as plantas. Entretanto, existem microrganismos, como bactérias e fungos, capazes de solubilizar fosfatos e disponibilizar o fósforo para as plantas, através da produção de ácidos inorgânicos e orgânicos ou pelo rebaixamento do pH.



👉 Brito e Ulla (2012)

O uso desses microrganismos solubilizadores de fosfato na agricultura não é tão comum como o das bactérias diazotróficas, mas também encontramos inoculantes comerciais. Os mais comuns são inoculantes de bactérias dos gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Enterobacter*, *Penicillium* e *Aspergillus*.



### Produção de fitormônios

Muitos microrganismos do solo têm a capacidade de produzir hormônios vegetais (fitormônios) que induzem o crescimento das plantas, tais como auxinas, giberelinas, citocininas e etileno. Assim, a presença desses microrganismos na rizosfera leva a planta a crescer mais.

Alguns pesquisadores consideram a fitoestimulação como o principal mecanismo responsável pela indução de crescimento das plantas. Trabalhos com bactérias dos gêneros *Azospirillum*, *Azotobacter* e *Rhizobium* consideraram que a FBN não é a explicação correta para os benefícios observados, mas sim a produção de fitormônios. Porém, os resultados apresentados na literatura são bastante contraditórios, além disso é difícil definir qual ou quais processos levam ao crescimento das plantas.

É importante que pesquisadores e produtores rurais testem microrganismos para cada cultura agrícola, em diferentes tipos de solo e tipos de clima. No quadro abaixo vemos exemplos de espécies conhecidas que produzem fitormônios de crescimento vegetal.

Microrganismos que produzem fitormônios de crescimento vegetal

Microrganismo	Fitormônio produzido
<i>Azotobacter</i>	Auxina e giberelina
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Auxina, giberelina e citocinina
<i>Rhizobium phaseoli</i>	Citocinina
<i>Rhizobium</i> sp.	Auxina
<i>Bradyrhizobium</i> sp.	Auxina
<i>Bacillus</i> sp.	Giberelina
<i>Sphingomonas</i> sp.	Auxina

## Defesa da planta

A planta exerce certa seletividade sobre a microbiota que habita a rizosfera, favorecendo o desenvolvimento daqueles organismos que a beneficia. Esse processo ainda não é completamente compreendido, mas se sabe que ocorre através de sinais químicos entre plantas e microrganismos. Assim, existem na rizosfera microrganismos que podem promover maior crescimento de plantas, devido a sua capacidade de defendê-las de múltiplos patógenos (organismos que causam doença em plantas), controlando o acúmulo de organismos prejudiciais às plantas.

A proteção se dá, principalmente, por meio de cinco processos: 1) produção de substâncias fungistáticas e antibióticas; 2) parasitismo; 3) competição por recursos; 4) competição por sítios de colonização; e 5) indução de defesa. Um microrganismo pode exercer um ou mais desses mecanismos e, em qualquer dos casos, é chamado de antagonista.

Muitos microrganismos do solo possuem a capacidade de produzir substâncias (metabólitos) que inibem a germinação de esporos de fungos (fungistase) ou matam as células de outros organismos (antibiose). As bactérias dos gêneros *Bacillus* e *Pseudomonas* e os fungos do gênero *Trichoderma* se destacam nesse sentido.

O parasitismo consiste em uma relação antagônica entre organismos, na qual um organismo infecta o outro e prejudica seu desenvolvimento através da decomposição de células e tecidos em benefício próprio. Assim, a planta se beneficia dessa relação quando um organismo, que não lhe causa doença, parasita um organismo fitopatogênico. Existem vários resultados de pesquisa que demonstram que os fungos do gênero *Trichoderma* possuem a capacidade de parasitar vários fungos e nematoides que causam doenças em plantas.

A competição consiste em um mecanismo de antagonismo muito importante para a defesa da planta. Esse processo pode ser definido como o comportamento desigual de dois ou mais organismos diante de um mesmo recurso (substrato ou nutrientes), sendo que a utilização do recurso por um organismo diminui a sua disponibilidade para o outro. Esse tipo de antagonismo é favorecido quando o antagonista tem capacidade de se adaptar e reproduzir em condições adversas com rápido crescimento e desenvolvimento e, assim, domina o habitat e inibe o desenvolvimento do patógeno.

A competição ocorre principalmente por macronutrientes, como o nitrogênio e o carbono, e por micronutrientes. Aqui se destacam os microrganismos capazes de produzir compostos sideróforos, que são compostos orgânicos que se ligam ao ferro (íon férrico -  $Fe^{3+}$ ) de compostos minerais, como os fosfatos de ferro. Os sideróforos são produzidos pelos

microrganismos em condições de deficiência de ferro e, neste caso, os microrganismos com essa capacidade têm vantagem sobre os outros. Esse é um processo de competição de nutrientes e de solubilização de fosfato, trazendo duplo benefício para a planta. São exemplos de microrganismos sideróforos espécies dos gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Azospirillum* e *Trichoderma*.

A competição também pode ser por sítios de colonização da planta, ou seja, aquele local de entrada do microrganismo nos tecidos da planta. Assim, quando a rizosfera está ocupada por organismos benéficos à planta, como as bactérias fixadoras de nitrogênio, solubilizadores de fosfato, micorrizas e fitoestimuladores, que estabelecem associação com a planta, esses organismos ocupam os locais da planta que poderiam servir de entrada para patógenos.

As plantas apresentam estratégias de defesa própria, como barreiras físicas e químicas, que retardam ou impedem a penetração de organismos que lhe causam doença, como fungos, bactérias, vírus, nematoides e insetos. As plantas ativam esses mecanismos de defesa após o ataque dos fitopatógenos. Porém, existem microrganismos que não causam doença na planta, e que quando estão presentes na rizosfera trocam sinais com a planta e a induzem a ativar seus mecanismos de defesa. Esse processo se chama indução de resistência.

Como existe uma infinidade de organismos do solo que podem defender a planta de patógenos, por diferentes mecanismos, os pesquisadores buscam na rizosfera microrganismos antagonistas a patógenos e testam seus efeitos *in vitro* (teste em laboratório em placas de petri) e *in vivo* (na planta cultivada na presença do patógeno). E após os testes indicam os genótipos adequados para a produção dos inoculantes.

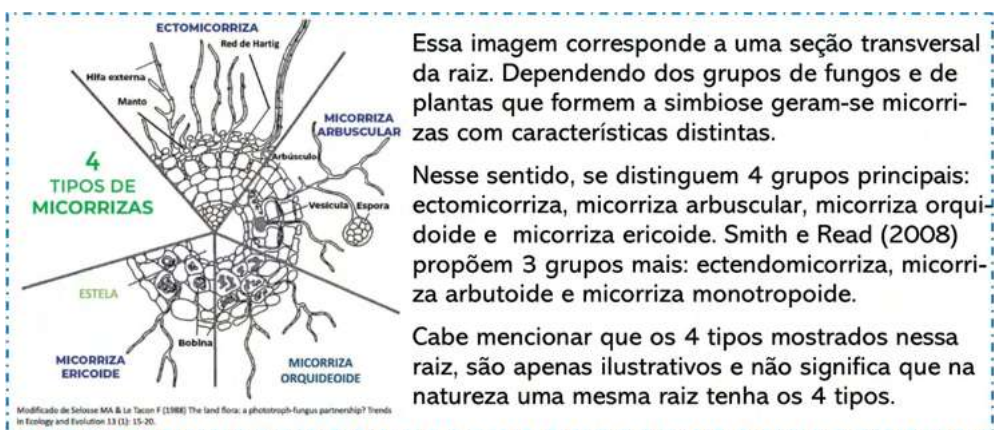
### *Micorrizas*

O termo micorriza tem origem do grego (myco = fungo; rhiza = raiz) e se refere aos fungos que estabelecem simbiose com as plantas. Tanto planta quanto fungo se beneficiam dessa associação. A planta fornece energia ao fungo que, por sua vez, aumenta a absorção de água e nutrientes para a planta, principalmente, daqueles menos móveis no solo, como o fósforo e o cálcio. Isso ocorre, porque através de suas hifas, as micorrizas aumentam em até 800 vezes o sistema radicular da planta.

Essa relação é muito antiga e há indícios que as plantas primeiro adquiriram a capacidade de formar micorrizas e depois se adaptaram ao ambiente terrestre e desenvolveram sistema radicular. Devido a esse longo tempo de evolução, as micorrizas se tornaram fungos simbiotróficos obrigatórios, ou seja, só conseguem se alimentar e

desenvolver se estiverem em simbiose com a planta; e a maior parte das plantas (cerca de 92%) passou a estabelecer simbiose com esses fungos.

As micorrizas são classificadas com base na sua estrutura, morfologia e modo de infecção, bem como, com o tipo de planta que estabelecem simbiose. A classificação pode variar entre autores, mas existe uma tendência atual de classificar esses fungos em sete tipos, dos quais, dois têm maior importância agrícola, as ectomicorrizas e as micorrizas arbusculares, ou como também conhecidas, fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Na figura a seguir vemos as características de quatro tipos de micorrizas e o texto traduzido livremente da postagem original.



👉 @micofiloschile

As ectomicorrizas são formadas por fungos que não penetram o interior das células da raiz, desenvolvendo-se nos espaços intercelulares através de uma estrutura anatômica específica chamada Rede de Hartig, como podemos ver na figura anterior. Esse tipo de micorriza tem relevância principalmente para regiões de clima temperado. No Brasil se destacam para as espécies de Pinus e Eucalipto. Outra característica marcante dessas micorrizas é o desenvolvimento do corpo de frutificação, que conhecemos vulgarmente por cogumelo, que possui valor comercial. O cultivo de cogumelos comestíveis é chamado de fungicultura.

As micorrizas arbusculares são formadas por fungos do filo Glomeromycota e recebem esse nome, devido à formação de estruturas chamadas arbuscúlos no interior das células das raízes, como vemos na figura anterior. Não produzem corpo de frutificação e se reproduzem por esporos. Têm ampla distribuição geográfica e se associam a mais de 80% das plantas cultivadas. Logo, quase toda cultura agrícola pode se beneficiar

dessa simbiose. Existem resultados que indicam efeitos positivos da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento de diversas culturas, como cana-de-açúcar, algodão, café, pastagens, milho, soja etc.



Diferentemente, das bactérias diazotróficas, os fungos micorrízicos não possuem elevada especificidade. Atualmente, existe um inoculante comercial da espécie *Rhizophagus intraradices* que pode ser utilizado em diversas culturas agrícolas. Mas existem resultados de pesquisa indicando a possibilidade de inúmeros outros genótipos de micorrizas arbusculares que podem vir a compor inoculantes. A seguir, temos um exemplo.



Além do maior crescimento das plantas, devido à maior absorção de água e nutrientes, existem resultados que indicam que as micorrizas arbusculares aumentam a

qualidade nutricional de frutos e folhas comestíveis e promovem a defesa das plantas, principalmente, pelo processo de competição pelos sítios de colonização.

### *Tecnologias microbianas*

São vários os processos microbiológicos e bioquímicos que podem beneficiar o desenvolvimento das plantas e elevar a produtividade das culturas agrícolas. Os microrganismos que atuam nesses processos se encontram naturalmente nos solos, principalmente na rizosfera, porém nós podemos aumentar a sua população e/ou introduzir espécies selecionadas eficientes em determinado processo. Para isso usamos a técnica da inoculação.

O inoculante é um produto sólido ou líquido que consiste em um meio de sobrevivência (substrato) para os microrganismos e um veículo para aderi-los às sementes. Os inoculantes sólidos utilizam como substrato a turfa, que consiste em um material orgânico com baixo grau de decomposição, que se acumula em áreas úmidas e/ou frias, onde a taxa de deposição excede a taxa de decomposição dos resíduos. Os inoculantes líquidos são compostos de uma solução nutritiva. Ambos devem ser isentos de outros organismos e terem as características (conteúdo de nutrientes, pH e umidade) adequadas para a sobrevivência da cultura microbiana.

O inoculante deve conter alta densidade de células microbianas do genótipo que se pretende introduzir na lavoura, de  $10^6$  a  $10^9$  UFC (unidades formadoras de colônias), pois os microrganismos introduzidos terão que se adaptar as novas condições ambientais do local e competir com os microrganismos nativos.

## Importância dos microrganismos na disponibilização de nutrientes para as plantas

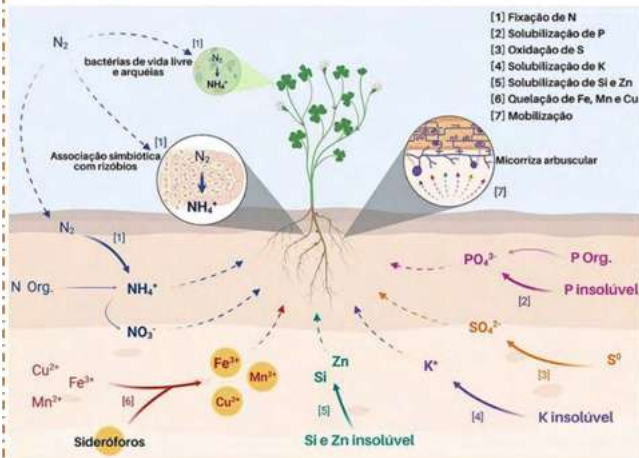


Imagem: Mitter et al., (2021)  
Frontiers in Sustainable Food Systems

Traduzido por: @solo.fertil

Observe na figura os principais processos de disponibilização dos nutrientes para a nutrição de plantas (setas completas representam transformações microbianas, enquanto setas tracejadas representam mobilização/movimento de nutrientes).

1) Nitrogênio: a microbiota do solo é um importante agente de mineralização de N orgânico. Além disso, existem os rizóbios (bactérias) que se associam às leguminosas que fazem fixação de  $N_2$  atmosférico e os fornecem para as plantas, assim como outros microrganismos de vida livre que fixam o N no solo.

2) Fósforo: as bactérias e fun-

gos dos gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Enterobacter*, *Penicillium* e *Aspergillus* fazem a conversão de P insolúvel do solo em formas disponíveis para as plantas.

3) Enxofre: as bactérias S-oxidantes liberando sulfato disponível nas plantas.

4) Potássio: bactérias e fungos fazem a síntese e liberação de ácidos orgânicos, assim como quelação e reações de troca envolvendo ácidos orgânicos que solubilizam K da fase mineral do solo.

5) Ferro, cobre e manganês: os microrganismos, principalmente os fungos micorrízicos, fazem o sequestro destes micronutrientes via sideróforos.

6) Silício e zinco: os microrganismos fazem a solubilização por acidificação, quelação e transformação química destes micros (absorção aprimorada por fungos micorrízicos).

👉 @solo.fertil

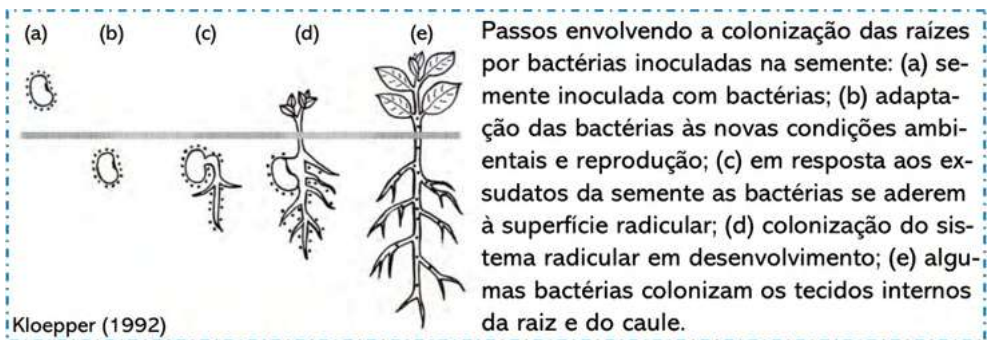
Existe uma série de cuidados com os inoculantes e com o processo de inoculação que devemos tomar:

1. Inoculante: devemos observar se o produto escolhido realmente tem registro no Ministério da Agricultura, ficar atentos à data de vencimento indicada no rótulo e verificar se as condições de transporte e armazenamento do produto foram adequadas.
2. Doses de aplicação: para realizar o cálculo da dose, devemos seguir as instruções fornecidas pelo fabricante, observando que devemos aplicar no mínimo 1,2 milhões de células por semente. Se o inoculante for líquido, a dose não deve ser menor que 100 ml de inoculante a cada 50 kg de sementes; se for turfoso, utiliza-se aproximadamente 300 ml de solução açucarada (a 10%)

juntamente com o inoculante para 50 kg sementes.

3. Combinação de inoculantes com outros produtos: não devemos realizar o tratamento fitossanitário de sementes e a inoculação ao mesmo momento. Primeiro, aplica-se o produto químico, espera-se secar e somente depois aplica-se o inoculante, para diminuir a taxa de mortalidade dos microrganismos. Outra opção é a inoculação diretamente no sulco de semeadura. Para isso, devemos utilizar de 2,5 vezes a dose do inoculante recomendada para aplicação via semente, diluída em ao menos 50 L/água/ha.
4. Momento da inoculação: devemos evitar realizar a inoculação em horários muito quentes, realizar o processo à sombra, manter as sementes pós-inoculação longe do sol e do calor e evitar realizar a inoculação diretamente na caixa semeadora, pois esse manejo dificulta a aderência do inoculante às sementes.
5. Semeadura: devemos realizar a semeadura após a secagem das sementes e no mesmo dia da inoculação, especialmente se a semente for tratada com produtos fitossanitários. Caso não seja possível, realizamos a semeadura em no máximo 24 horas após a inoculação. Além disso, precisamos evitar semear nos horários mais quentes do dia. Altas temperaturas no depósito de sementes e no solo são prejudiciais aos microrganismos.

A inoculação tem por objetivo introduzir, próximo à semente, elevado número de organismos de um genótipo eficiente em algum processo benéfico à planta. Assim, quando a planta começa a se desenvolver e emitir raízes já se inicia a troca de sinais entre planta e microrganismo e se estabelecem as relações benéficas entre eles, como podemos observar na figura a seguir.





## PARA REFLETIR

Vamos pensar em dois pontos principais nesta seção. O primeiro é a indissociabilidade das propriedades e processos físicos, químicos e biológicos do solo. Para isso, podemos analisar a figura e o texto abaixo do perfil @solo.fertil:

**Interação entre o pH do solo, a microbiota do solo e o desenvolvimento das culturas**

Mudanças no pH do solo requerem das plantas um ajuste contínuo de estratégias de aquisição de nutrientes, composição de exsudatos radiculares e respostas de defesa de patógenos.

Os principais fatores associados à acidez do solo são a lixiviação das bases por excesso de chuvas e aplicação de fertilizantes nitrogenados. As principais limitações do crescimento das plantas em solos ácidos são causadas por infecção por patógenos, toxicidade do alumínio (Al), níveis potencialmente tóxicos de Mn e Fe, diminuição da disponibilidade de P e N.

Por outro lado, os solos alcalinos são formados principalmente por sedimentos de calcário e em ambientes de baixa precipitação pluviométrica. Os solos alcalinos afetam o crescimento das plantas por diminuição da disponibilidade de Fe, Mn e P, além do Cu e Zn e desbalanço entre Ca, Mg e K e, muito comumente, Na.

As mudanças no pH do solo são acompanhadas por mudanças na estrutura do microbioma. Os microrganismos benéficos do solo preferem condições de pH neutro ou levemente alcalino, enquanto os solos ácidos alteram a população do microbioma para uma população mais predominante de patógenos.

Para lidar com as restrições associadas a diferentes ambientes de pH do solo, as plantas alteram as composições dos exsudatos das raízes para melhorar, ajustar ou priorizar os processos de desintoxicação e adaptar estratégias de aquisição de nutrientes e respostas de defesa de patógenos.

Imagem: Tsai & Schmidt (2021) Nature Plants

Traduzido por: @solo.fertil

Notamos, então, que o pH do solo afeta a disponibilidade de nutrientes e a composição da microbiota, o que leva às plantas a terem que se adaptar às diferentes condições bioquímicas do solo. Podemos lembrar aqui, que a condição física do solo tem relação com a sua composição bioquímica, pois solos bem agregados e estruturados sofrem menores perdas de bases por lixiviação e, conseqüentemente, menor acidificação do que aqueles mal estruturados. Além disso, possuem melhor condição de aeração e favorecem o desenvolvimento da microbiota e das plantas.

O segundo ponto de reflexão é a importância da matéria orgânica em solos com predomínio de minerais de argila de baixa atividade ou muito arenosos, ou seja, solos com baixa CTC. Nesses solos a pouca quantidade de cargas negativas presentes nos colóides

minerais faz com que ocorra a lixiviação das bases, acidificação do solo, baixo estado de agregação do solo, redução da atividade microbiana etc. Assim, é essencial elevar as cargas negativas do solo e isso é possível elevando o teor de matéria orgânica. No esquema abaixo podemos visualizar os benefícios da matéria orgânica para os sistemas agrícolas.

Importância da matéria orgânica para o ecossistema solo		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Promove a agregação.</li> <li>• Eleva e equilibra as taxas de infiltração e retenção de água.</li> <li>• Aumenta a aeração.</li> <li>• Confere resistência à erosão.</li> <li>• Reduz a temperatura.</li> <li>• Diminui o gradiente de temperatura entre o dia e a noite.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É fonte de nutrientes.</li> <li>• Eleva a capacidade de troca de cátions.</li> <li>• Efeito tampão do pH.</li> <li>• Adsorve metais.</li> <li>• Sequestra carbono.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eleva a atividade biológica e conseqüentemente os processos de:               <ul style="list-style-type: none"> <li>⇒ Mineralização e humificação.</li> <li>⇒ Fixação biológica de N.</li> <li>⇒ Solubilização de fosfatos.</li> <li>⇒ Produção de fitormônios de crescimento.</li> <li>⇒ Micorrização.</li> </ul> </li> </ul>

## ESTUDANDO NA REDE

**Confira essas postagens do Instagram sobre os conteúdos desta Unidade!**

- 👉 Qual a diferença entre textura e estrutura do solo?
- 👉 Macro e microagregado
- 👉 Macroporos em solo arenoso saturado
- 👉 Solo compactado vs. solo estruturado
- 👉 Compactação vs. adensamento
- 👉 Arquitetura do sistema radicular em solo não compactado e em solo compactado
- 👉 Textura do solo
- 👉 Infiltração da água de irrigação conforme a textura do solo
- 👉 Organismo solo
- 👉 O que é a rizosfera?
- 👉 Você sabe o que são Bioporos?
- 👉 As plantas conversam entre si
- 👉 Micorriza

👉 Fixação biológica de nitrogênio

### **Confira cartilha sobre micorrizas arbusculares!**

👉 O que é um pontinho amarelo abaixo dos seus pés?

### **Confira esse vídeo sobre os cuidados com a inoculação!**

👉 Fixação Biológica de Nitrogênio – FBN: inoculantes para soja



## **VERIFIQUE SUA APRENDIZAGEM**

1. Descreva como a proporção entre as frações granulométricas do solo definem a sua textura.
2. Relacione as diferentes classes texturais do solo com o seu comportamento físico-hídrico, químico e biológico.
3. Relacione o processo de agregação das partículas com a formação das estruturas.
4. Diferencie densidade do solo e densidade de partículas.
5. Relacione a densidade do solo com a porosidade e compactação.
6. Descreva a relação entre os diferentes atributos físicos do solo com a sua suscetibilidade à erosão.
7. Diferencie:
  - a. Acidez ativa e acidez potencial.
  - b. Capacidade de troca de cátions efetiva e capacidade de troca de cátions potencial.
8. Relacione o tipo de argila com a capacidade de troca de cátions potencial.
9. Explique a relação da capacidade de troca de cátions do solo com o processo de lixiviação das bases.
10. Identifique os processos microbiológicos que melhoram a qualidade do solo.
11. Identifique os processos microbiológicos que promovem o crescimento das plantas.
12. Explique como o agricultor pode se beneficiar dos processos microbiológicos do solo.
13. Descreva a importância da matéria orgânica do solo para os sistemas agrícolas.

## UNIDADE IV

### FERTILIDADE DO SOLO



#### OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Ao final desta Unidade, o estudante deverá:

- descrever os princípios da fertilidade do solo;
- coletar corretamente amostras de solo;
- identificar os métodos de análise de solo e descrever suas finalidades;
- interpretar os resultados da análise de solo; e
- recomendar corretamente a correção do solo e a adubação.



#### FIQUE POR DENTRO

### 1 . PRINCÍPIOS BÁSICOS DA FERTILIDADE DO SOLO

A fertilidade do solo pode ser conceituada como a capacidade do solo de fornecer quantidades suficientes e equilibradas de elementos químicos essenciais (nutrientes) e água necessários para o adequado desenvolvimento das culturas.

O termo fertilidade pode ter derivações e, assim, podemos classificar a fertilidade do solo em diferentes tipos:

**Fertilidade natural:** decorrente do processo de formação (pedogênese), sem a interferência de atividades antrópicas, como o cultivo agrícola.

**Fertilidade potencial:** aquela que pode ser alcançada após a correção de alguma característica que está impedindo a capacidade real da área de liberar nutrientes para as plantas.

**Fertilidade atual:** obtida por meio de práticas antrópicas manejo e adubação que visam a correção do solo e o fornecimento de nutrientes para as culturas.

Agronomicamente manejamos os solos de baixa fertilidade natural, de modo a alcançar a sua fertilidade potencial. Para isso, temos que conhecer quais são os componentes da fertilidade do solo, a dinâmica dos nutrientes no sistema solo planta e os métodos de correção do solo e adubação.

## 1.1 Classificação dos elementos

Do ponto de vista da nutrição de plantas, os elementos são classificados em essenciais, benéficos e tóxicos às plantas. Para um elemento ser considerado essencial, deve atender os seguintes critérios:

- a deficiência impede que a planta complete o seu ciclo de vida;
- não pode ser substituído por outro com características químicas similares; e
- participa diretamente do metabolismo da planta.

Atualmente conhecemos dezessete elementos essenciais às plantas, que são denominados nutrientes. De acordo com o papel bioquímico e a quantidade requerida pelas plantas, classificamos os nutrientes de acordo com o quadro abaixo.

Classificação	Elemento	Concentração média	Demonstração da essencialidade (ano)
Macronutriente orgânico	Carbono (C)	450 g/kg	1804
	Oxigênio (O)	450 g/kg	1804
	Hidrogênio (H)	60 g/kg	1804
Macronutriente primário	Nitrogênio (N)	15 g/kg	1804
	Fósforo (P)	2 g/kg	1860 e 1865
	Potássio (K)	10 g/kg	1860 e 1865
Macronutriente secundário	Cálcio (Ca)	5 g/kg	1860
	Magnésio (Mg)	2 g/kg	1860 e 1865
	Enxofre (S)	1 g/kg	1865
Micronutriente	Cloro (Cl)	100 mg/kg	1954
	Manganês (Mn)	50 mg/kg	1915 e 1922
	Boro (B)	20 mg/kg	1923
	Zinco (Zn)	20 mg/kg	1926
	Ferro (Fe)	10 mg/kg	1860 e 1865
	Cobre (Cu)	6 mg/kg	1931
	Níquel (Ni)	3 mg/kg	1987
	Molibdênio (Mo)	0,1 mg/kg	1938

**Importante:** os macronutrientes orgânicos são adquiridos pelas plantas com a absorção de água e realização da fotossíntese. Os demais são absorvidos da solução do solo.

Os elementos benéficos, também chamados de não essenciais úteis, são aqueles que atendem a pelo menos um desses critérios:

- são considerados essenciais para determinadas espécies de plantas;
- podem substituir parte de um elemento similar; e/ou
- podem desencadear processos metabólicos que melhorem o desenvolvimento das plantas.

Os principais elementos que se enquadram nessa categoria são o cobalto (Co), sódio (Na), silício (Si), selênio (Se). O Co é essencial para as leguminosas porque participa do processo de fixação biológica de nitrogênio, que estudaremos a seguir. O silício é essencial para algumas espécies da família Poaceae, como o arroz (*Orizae sativa*) e na sua deficiência, a cultura apresenta problemas, como o acamamento e alta incidência de doenças. O Na substitui parte do K, principalmente em plantas natrófilicas. O selênio pode substituir parte do enxofre na formação de alguns aminoácidos essenciais.

Um elemento pode ser considerado tóxico quando em determinada concentração oferece risco à saúde dos seres vivos. Em muitas ocasiões é usado como sinônimo de metal pesado, porém elementos que não têm caráter metálico ou de menor densidade também podem ser tóxicos. Definir um elemento como tóxico às plantas não é uma tarefa fácil, pois qualquer elemento, essencial ou benéfico, em excesso pode vir a causar danos às plantas. Mas alguns elementos, seja pela sua baixa concentração capaz de causar dano, seja pelo seu elevado risco de toxidez, podem ser considerados potencialmente tóxicos às plantas, como alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), bromo (Br), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), iodo (I), mercúrio (Hg), níquel (Ni) e selênio (Se).

## 1.2 Leis da fertilidade do solo

Existem alguns princípios básicos denominados “leis”, que se baseiam na dinâmica dos elementos no sistema solo planta e, assim, estabelecem parâmetros para a aplicação de adubos. Vamos conhecer essas leis:

**Lei do mínimo:** também conhecida como lei de Liebig, foi enunciada em meados de 1800 por dois cientistas e químicos alemães, Justus von Liebig e Carl Sprengel, e estabelece que a produção de uma cultura será limitada pelo nutriente que se encontra em menor concentração no solo em relação à exigência das plantas, mesmo que os demais estejam em concentrações adequadas.



### Lei do mínimo

Nesse exemplo podemos observar que os fatores limitantes são os nutrientes: N, K e P, consecutivamente. Assim quando faz-se a correção do primeiro elemento limitante (nitrogênio), outro nutriente passa a limitar a produção, que nesse exemplo será o potássio. Desse modo, as correções podem ser feitas observando o que está limitando a produção. Lembrando que, a produtividade de uma cultivar é estabelecida pela relação entre o potencial genético e o ambiente.

↪ Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas

**Lei dos incrementos decrescentes:** premissa que determina que a aplicação de doses crescentes de um determinado nutriente resulta, a princípio, em maiores incrementos na produção, porém que decrescem com o passar do tempo. É também conhecida por lei de Mitscherlich ou lei dos rendimentos não proporcionais e foi criada em 1909 pelo químico alemão E. A. Mitscherlich.

**Lei do máximo:** determina que o excesso de um nutriente no solo interage antagonicamente com outro(s), inibindo a sua absorção ou levando à sua indisponibilidade por meio de outros processos e, portanto, pode resultar em menor rendimento das culturas.

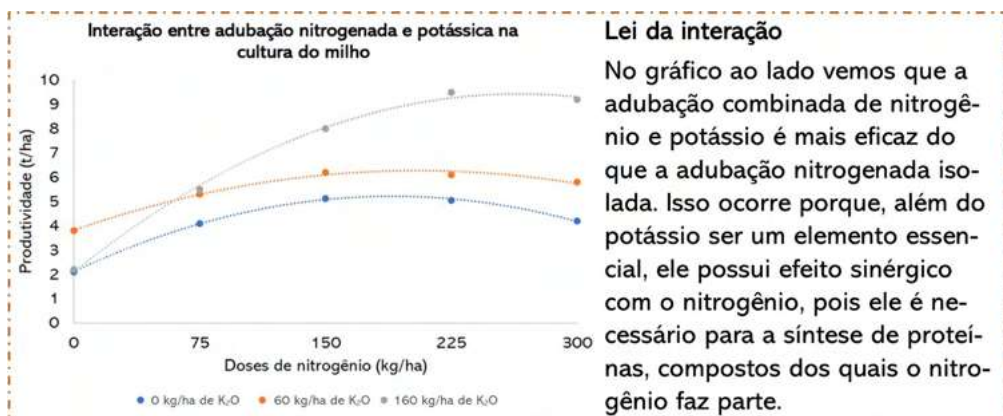
### Lei do máximo

No gráfico ao lado vemos que o efeito da adubação potássica tem um ponto de máximo rendimento ( $x = 90$  kg/ha de  $K_2O$ ;  $y = 4.100$  kg/ha de grãos de soja), a partir do qual a produtividade da cultura é reduzida com o aumento da dose de  $K_2O$ .



**Lei da interação:** variante da lei do mínimo que define que a produção é função de um conjunto de fatores ou variáveis e, portanto, existem interações entre os elementos e outros fatores de produção, isto é, um ou mais elementos exercem influência mútua ou

recíproca. Essa influência pode ser positiva (sinérgica) ou negativa (antagônica).



**Lei da restituição:** baseia-se na necessidade de restituir ao solo aqueles nutrientes absorvidos pelas plantas e exportados com as colheitas, ou seja, aqueles que não foram reciclados. Essa lei considera o esgotamento dos solos, decorrência de cultivos sucessivos, como uma das origens da redução da produtividade.

Com base nessas leis, percebemos que a fertilidade do solo está pautada na disponibilidade de nutrientes de forma equilibrada, evitando escassez ou excesso e as interações antagônicas entre os elementos. Logo, um solo fértil possui os nutrientes essenciais em quantidades adequadas e balanceadas para as plantas. Porém, nem sempre um solo fértil é também produtivo. Um solo produtivo é caracterizado por um solo fértil e que também apresenta outros fatores adequados ao desenvolvimento das plantas.

O solo, assim como a sua fertilidade, é um sistema dinâmico e, portanto, apenas a presença do elemento no solo não garante a sua disponibilidade. Desse modo, é importante relembrar os conteúdos sobre os processos e as propriedades do solo, estudados na Unidade III.

## Já parou para pensar no conceito de solo e porque entender a sua fertilidade?

- ❖ Solos são o meio no qual as culturas desenvolvem-se para alimentar e abrigar o mundo.
- ❖ Entender a fertilidade do solo é compreender a necessidade básica para a produção vegetal
- ❖ A fertilidade é vital para a produtividade, um solo fértil não é necessariamente um solo produtivo.
- ❖ A má drenagem, os insetos, a seca e outros fatores podem limitar a produção, mesmo quando a fertilidade é adequada.



## Importante:

Para compreender completamente a fertilidade do solo precisamos conhecer outros fatores que favorecem, ou limitam, a produtividade

- ❖ Certos fatores externos controlam o crescimento das plantas: ar, calor (temperature), luz, suporte mecânico, nutrientes e água.
- ❖ A planta depende do solo, pelo menos em parte, para a obtenção de todos estes fatores, com exceção da luz.



- ❖ Cada um desses fatores afeta diretamente o crescimento da planta e está relacionado aos demais.



## Dica do Professor Joaca

Noite, meus queridos!

Foi falado sobre alguns fatores que podem interferir no desenvolvimento das plantas, e dando aquela matutada aqui nas idéias lembrei que não podemos esquecer sobre os fatores que afetam as relações hídricas do solo.

Isto porque a água e o ar ocupam espaços porosos do solo e isto influencia o arejamento. Assim mudanças no teor de umidade afetam a temperatura do solo, a disponibilidade de nutrientes e o crescimento das raízes.

Um grande abraço do Joaca!



## Como podemos classificar a fertilidade do solo na agricultura moderna?



Como um Sistema dinâmico pois:

- Os nutrientes estão sendo constantemente exportados na forma de produtos de plantas e animais e outros podem ser perdidos por lixiviação e erosão.
- Alguns como fósforo (P) e potássio (K), podem ser retidos por certos tipos de argila do solo.
- A matéria orgânica e os microrganismos do solo imobilizam e depois liberam nutrientes através do tempo.

Atenção: é essencial compreender os princípios de fertilidade do solo para uma produção eficiente das culturas e proteção Ambiental, isto porque o processo produtivo agrícola não é um Sistema fechado.



👉 @agrocollege

## 1.3 Mecanismos de contato íon-raiz

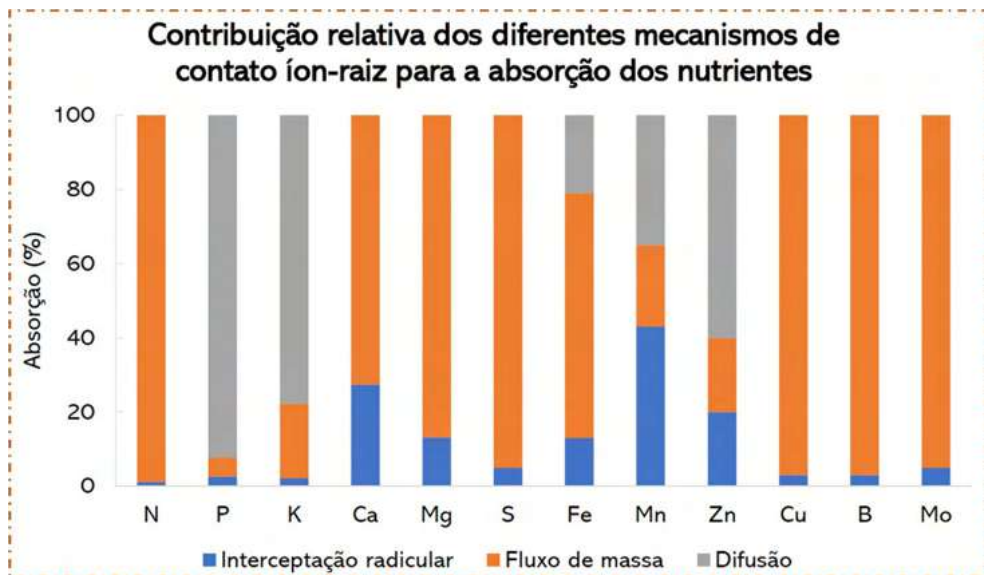
Para que um elemento seja absorvido pela planta é necessário que ele entre em contato com o sistema radicular e isto ocorre de três formas:

**Intercepção radicular** – à medida que a raiz cresce no solo ela “encontra” os íons que estão na fase líquida e sólida do solo. Esse processo é responsável por uma pequena parte dos íons absorvidos e quanto maior for a raiz maior será a intercepção radicular.

**Fluxo de massa** – é o movimento do íon que está na solução do solo, no fluxo criado pela respiração das plantas. Assim, os elementos que estão dissolvidos na solução do solo são carregados pela água até a superfície radicular por fluxo de massa.

**Difusão** – é o movimento do íon que está na solução do solo a curtas distâncias por

diferença de concentração. O movimento se dá de um meio mais concentrado, por exemplo em volta do grânulo de fertilizante, para um meio menos concentrado, a superfície da raiz.



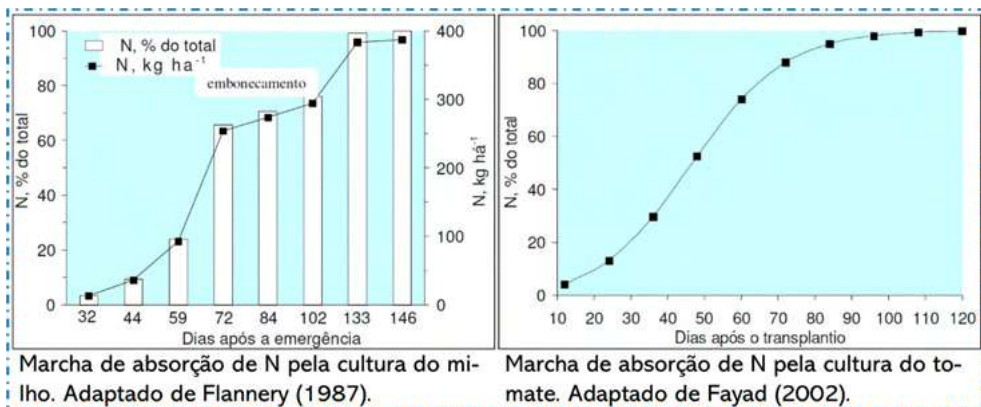
Adaptado de Malavolta (1980).

#### 1.4 Absorção, transporte e redistribuição dos nutrientes

A absorção é o processo pelo qual o elemento, após entrar em contato com a raiz, passa do substrato (solo, solução nutritiva) para uma parte qualquer da célula (parede, citoplasma, vacúolo). A absorção também pode ser foliar, porém essa não é uma via natural, sendo necessário fornecer os elementos via adubação foliar.

O processo de absorção ocorre com ou sem gasto de energia, sendo denominado ativa e passiva, respectivamente. A maior parte dos elementos (aproximadamente 85%) é absorvida com gasto de energia envolvendo a ativação da bomba iônica e proteínas e canais especializados na absorção.

Em geral, a absorção dos elementos segue uma marcha que acompanha o crescimento da planta. Assim, a tendência é que a absorção seja crescente durante a fase vegetativa e reduzida na fase reprodutiva das plantas, como podemos ver na figura a seguir.



UNESP (2006)

Após absorvido o elemento é transportado, em forma igual ou diferente da absorvida, de um órgão ou região de absorção para outro qualquer (por exemplo, da raiz para a parte aérea). Esse transporte é feito via xilema a favor do fluxo criado pela respiração da planta. No órgão (fruto, folha etc.) que o elemento chega, ocorre a assimilação em compostos necessários para o metabolismo da planta, aminoácidos, proteínas etc.

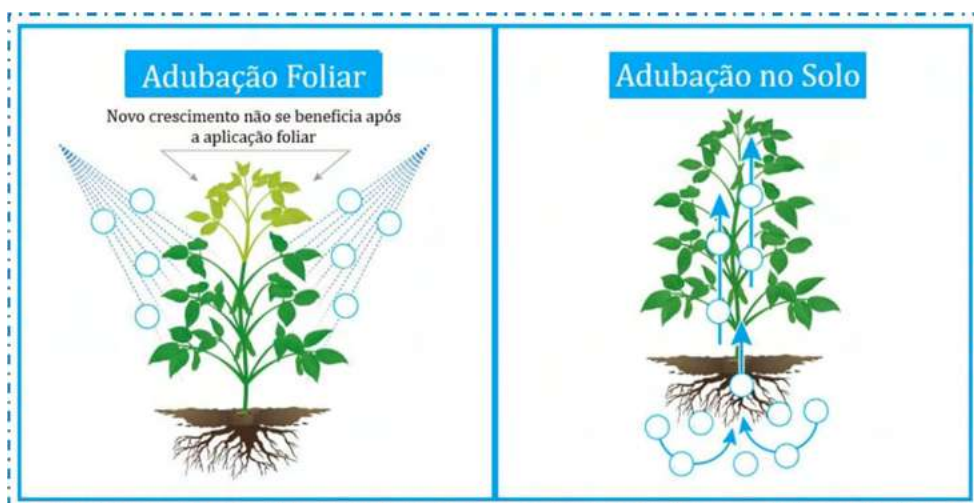
Quando necessário a planta pode redistribuir os elementos, ou seja, transferi-los de um órgão ou região de acúmulo para outro, por exemplo, de uma folha para um fruto; de uma folha velha para uma nova. Esse processo ocorre pelo floema e, como os elementos têm diferente mobilidade no floema, alguns elementos são mais redistribuídos que outros. Essa característica faz com que os sintomas de deficiência dos elementos se apresentem de forma distinta. Vamos conferir a mobilidade dos elementos no floema e onde aparecem os primeiros sintomas de deficiência!

Nutriente	Mobilidade no floema	Primeira observação de sintomas visuais de deficiência
N, P, K e Mg	Móveis	Folhas velhas
S, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo	Pouco móveis	Folhas novas
B e Ca	Imóveis	Folhas novas e meristemas

Adaptado de Marschner (1986).



👉 O blog da aegro



👉 O blog da aegro

## 2 . DINÂMICA DOS ELEMENTOS NO SISTEMA SOLO PLANTA

A dinâmica e a disponibilidade dos diferentes elementos às plantas, depende de todos os processos e propriedades do solo que vimos até o momento. O nosso objetivo como técnicos é compreender essas características a fim de disponibilizar os elementos essenciais e benéficos às plantas nas quantidades adequadas e de forma equilibrada, além de manter os elementos potencialmente tóxicos em baixa concentração na solução do solo, a fim de garantir o bom desenvolvimento das plantas e máximo rendimento econômico das culturas.

### 2.1 Nitrogênio (N)

O N é o elemento mais abundante da atmosfera ( $\approx 78\%$ ), porém se encontra em

uma forma muito estável ( $N_2$ ) que não está disponível às plantas, pois é formado por uma tripla ligação covalente entre as duas moléculas de N. Para entrar no sistema solo planta, o N precisa ser fixado e existem três formas disso acontecer: 1) fixação atmosférica, que consiste na quebra da tripla ligação do  $N_2$  pelas descargas atmosféricas (raios) e posterior incorporação ao solo; 2) fixação industrial, produção de fertilizantes nitrogenados pelo método conhecido como *haber bosch*; e 3) fixação biológica: realizada por bactérias capazes de quebrar a tripla ligação do  $N_2$  e fixá-lo na forma de amônia ( $NH_3$ ), quando esse processo ocorre em associação com as plantas, a amônia é rapidamente convertida em amônio ( $NH_4^+$ ).

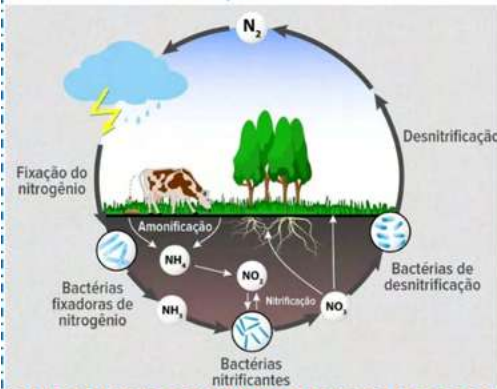
Após a entrada no solo, o N está sujeito à muitas transformações e ocorre na natureza em várias formas químicas. O N contido em plantas, outros organismos e na matéria orgânica do solo é chamado de N orgânico. Quando os microrganismos decompõem o material orgânico, essa forma de N passa por um processo chamado de mineralização e se torna disponível para as plantas na forma de amônio ( $NH_4^+$ ).

Os adubos nitrogenados liberam o N no solo na forma de amônio,  $NH_4^+$ , (fertilizantes amoniacais) ou de nitrato,  $NO_3^-$  (fertilizantes nítricos). As plantas absorvem essas duas formas de N, porém em ambientes com boa aeração o amônio é rapidamente convertido a nitrato, pela atividade microbiana do solo. A diferença entre o amônio e o nitrato no solo está na sua mobilidade. O ânion ( $NO_3^-$ ) é mais móvel, sendo facilmente perdido por lixiviação; o cátion ( $NH_4^+$ ) é mais retido nas cargas negativas dos coloides e, portanto, é menos móvel no solo.

Em solos pobres em oxigênio, como regiões alagadas, ocorre a desnitrificação, transformando o nitrato em formas gasosas que retornam para a atmosfera e podem causar danos à camada de ozônio.

Outra transformação importante do nitrogênio é a volatilização da amônia, que é a perda do nitrogênio do solo em forma gasosa (amônia -  $NH_3$ ). Essa reação é importante para fertilizantes amídicos, como a ureia, que é a principal fonte de nitrogênio usada na agricultura. A volatilização é favorecida se o adubo for aplicado em superfície sem incorporação, com temperaturas elevadas, pH do solo neutro a básico e em solos úmidos. Nessas condições, a perda por volatilização pode chegar a 70% do nitrogênio aplicado.

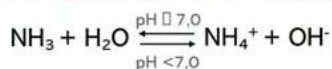
Na figura abaixo temos o ciclo simplificado do N, porém falta uma reação importante para os ecossistemas agrícolas, que é a volatilização da amônia, que podemos visualizar ao lado. ➡



1ª reação



2ª reação (dependente de pH)



Em condições de pH de neutro a alcalino, a amônia (NH<sub>3</sub>) é perdida para a atmosfera. Em pH ligeiramente ácido ou menor, a amônia é convertida em amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), que é uma forma disponível às plantas.

👉 @humanidadeecologica

Como o N é um elemento muito dinâmico, com muitas vias de perda, a sua adubação é feita no momento do plantio ou próximo a ele. Muitas vezes também é necessário fazer o parcelamento da adubação nitrogenada para garantir que as plantas tenham N disponível durante todo o seu ciclo.

Após absorvido, o N é rapidamente assimilado na forma de aminoácidos, que fazem parte de proteínas, enzimas, ácidos nucléicos e outros compostos nitrogenados, entre eles, a clorofila, pigmento que confere cor verde às folhas. Assim, o N desempenha um papel importante para o crescimento e produção das culturas, participando de diversos processos fisiológicos vitais para o ciclo de vida das plantas. No quadro a seguir temos um resumo das funções do N nas plantas.

Função	
Estrutural	Metabólica
Aminoácidos e proteínas	Absorção iônica
Glico e lipoproteínas	Multiplicação e diferenciação celulares
Enzimas e coenzimas	Respiração
Bases nitrogenadas e ácidos nucléicos	Fotossíntese
Vitaminas	Herança
Pigmentos (clorofila)	

## Um nutriente essencial para as plantas

Nitrogênio é parte de cada célula viva sendo essencial para o crescimento das plantas.

O N na maior parte das vezes é absorvido e transportado na forma de  $\text{NH}_4^+$  (amônio) ou  $\text{NO}_3^-$  nitrato.

A maioria das culturas absorve a maior parte de seu nitrogênio na forma de  $\text{NO}_3^-$ .

O N é necessário para a síntese de clorofila, e como parte da molécula de clorofila, está envolvido na fotossíntese.

A deficiência de N e clorofila significa que a planta não irá utilizar a luz do sol como fonte de energia para levar a efeito funções essenciais como absorção de nutrientes.

O N é componente de vitaminas e do sistema enzimático

O N é um componente essencial dos aminoácidos os quais formam as proteínas.

Tabela 3-1. As culturas apresentam alta exigência em nitrogênio.

Cultura	Produtividade (t/ha)	Quantidade de N na cultura total (kg)
Alfafa*	18,0	500
Algodão (fiora)	1,7	200
Amendoim*	4,5	270
Arroz	7,8	125
Cacau (sementes)	1,5	450
Caná-de-açúcar	112,0	235
Caná (espica verde)	3,2	500
Capim napier	28,0	340
Gramma bermuda	18,0	410
Laranja	60,0	300
Mandioca	40,0	260
Milho	10,0	240
Soja*	4,0	350
Sorgo granífero	8,4	250
Tomate	80,0	260
Trigo	4,0	130

\* As leguminosas retiram a maior parte do seu nitrogênio do ar.



## Porque não tem N na análise de solo

Este é um elemento muito dinâmico no solo. Podendo, diariamente ocorrer vários processos acarretando em grande variações entre momento da amostragem e posse dos resultados.

Fixação biológica  
Lixiviação

Volatilização  
Mineralização  
Imobilização



Importante utilizar dados de extração e exportação de N pelas culturas para recomendação deste nutriente.



@agrocollege

No caso da deficiência de N, o sintoma típico é o amarelecimento da folha por falta de clorofila. Como é um elemento móvel no floema, os sintomas aparecem primeiro nas folhas mais velhas, devido à redistribuição do N para as folhas mais novas ou para frutos em formação. A planta deficiente em N apresenta redução no crescimento e na produtividade. Se a deficiência persistir, a clorose atinge todas as folhas da planta, seguida de necrose.

O excesso de N também é prejudicial ao desenvolvimento das plantas. Ocorre um crescimento excessivo da parte aérea, desequilibrando a relação entre parte aérea e raiz, o que diminui a capacidade de resistência das plantas em períodos secos (veranicos) e causa o acamamento das plantas. Além disso, a fase vegetativa é prolongada e a fase reprodutiva é reduzida, havendo redução na produção das culturas.

Na figura a seguir, vemos os sintomas de deficiência em algumas culturas.

**7 N**  
Nitrogênio  
#4.067

**Nitrogênio**

- Alta mobilidade na planta e solo
- Absorvido por meio de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$
- Teores médios de N na planta: 20 a 40 g/kg
- Constitui proteínas e enzimas
- O Nitrogênio está diretamente relacionado às taxas fotossintéticas devido sua importância na constituição da clorofila



Deficiência de N:

- amarelamento (clorose) de folhas mais velhas, em formato de "V" invertido
- em casos mais severos, folhas novas também são afetadas
- diminuição de proteína em partes vegetativas e em sementes
- diminuição de crescimento e perfilhamento
- diminuição do número de folhas
- maturação precoce, diminuindo produtividade

@agro\_extensão



**Sintomas na cultura do milho**



Folha normal

Folha com deficiência de nitrogênio

Espiga normal

Espiga com deficiência de nitrogênio

Fonte: Brasil.gov.net e Granarola.

👉 @agro\_extensão

👉 Mesquita et al. (2016)

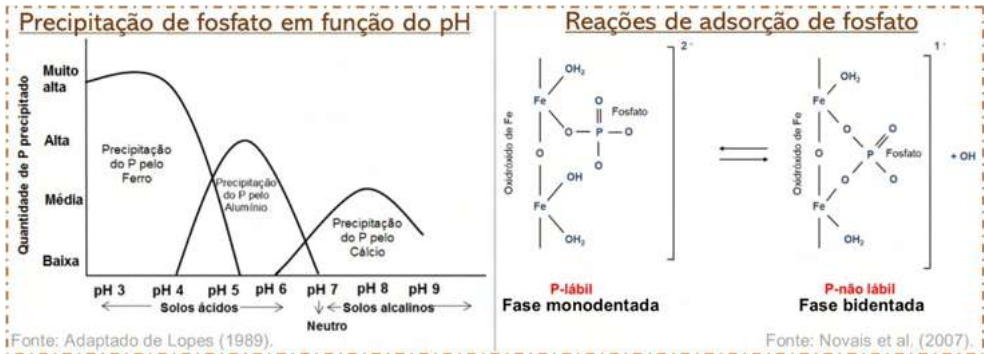
👉 Embrapa

👉 Plantae

## 2.2 Fósforo (P)

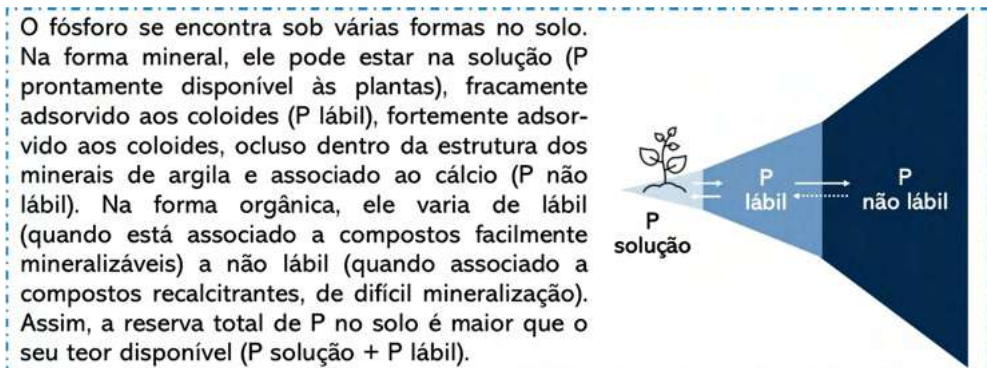
O P importante para o ambiente é derivado do ácido ortofosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). A entrada de P no solo se dá pelo intemperismo de rochas fosfáticas, conhecidas genericamente como apatitas, pela mineralização da matéria orgânica e pela adição de adubos minerais, que também são derivados das rochas fosfáticas.

Após entrar no sistema, o P disponível (assimilável pelas plantas) é rapidamente convertido para formas não disponíveis. Esse processo é conhecido como fixação (retrogradação) de fosfato e acontece por meio da reação de adsorção aos colóides minerais (principalmente minerais 1:1 e oxihidróxidos de Fe e Al) e da reação de precipitação com o Fe e o Al em meio ácido e com o Ca em meio básico.



↪ Marques (2016)

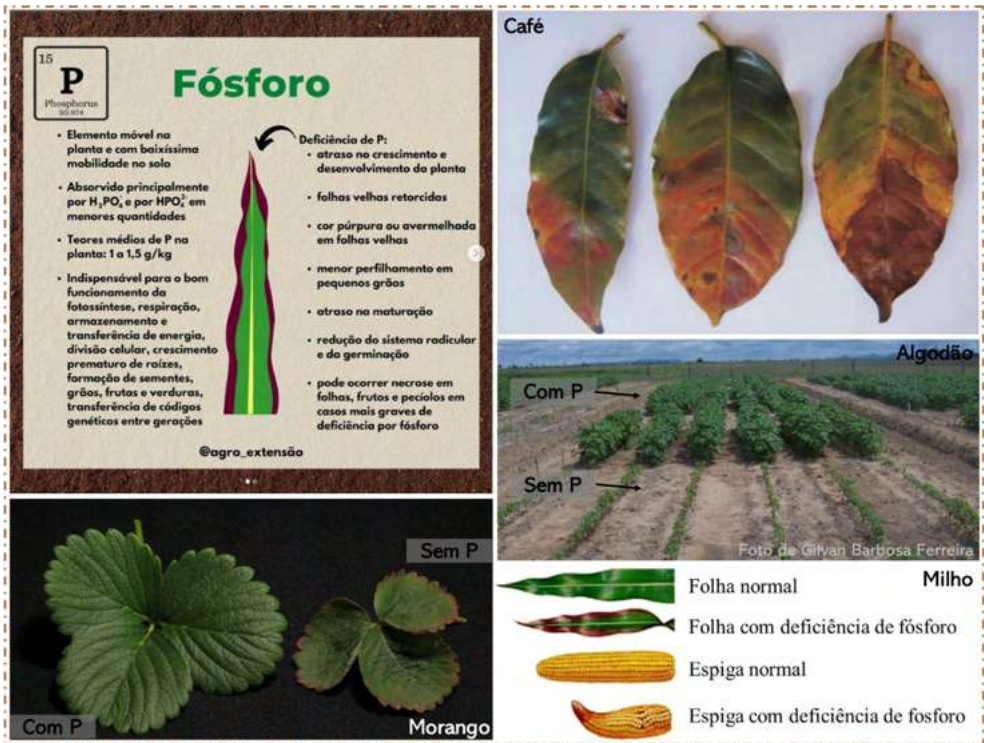
O teor de P total do solo é, portanto, muito maior do que o teor disponível para as plantas, principalmente em solos de textura média a argilosa com alto grau de intemperismo, como podemos conferir na representação a seguir.



O P é um elemento pouco móvel no solo e, portanto, a lixiviação não é um problema. A sua principal via de perda do sistema é a erosão. A fixação de fosfato faz com que o P se torne indisponível às plantas, porém não resulta em perda do sistema, podendo ser recuperado principalmente com o uso de microrganismos, como as micorrizas e as bactérias solubilizadoras de fosfato.

Devido a sua baixa mobilidade, o principal mecanismo de contato íon-raiz é a difusão. Após absorvido (na forma de  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  ou  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) o P é transportado via xilema, uma pequena parte é armazenada no vacúolo, sendo liberada para o citosol à medida que a planta necessita, e o restante (cerca de 80%) é rapidamente convertido em compostos orgânicos. No quadro a seguir verificamos as principais funções do P nas plantas.

Função	
Estrutural	Metabólica
Ésteres de carboidratos	Transferência/armazenamento de energia
Fosfolípidios	Absorção iônica
Coenzimas	Fotossíntese
Ácidos nucleicos	Sínteses (proteica)
Nucleotídeos	Multiplicação e divisão das células
	Herança



👉 @agro\_extensão    👉 Mesquita et al. (2016)    👉 Barreto et al. (2018)    👉 Borin et al. (2013)    👉 Plantae

O sintoma mais característico da deficiência de P é o aparecimento de coloração verde mais escura nas folhas mais velhas (devido ao acúmulo de clorofila) e a redução no crescimento da planta (devido à deficiência de ATP e à redução na taxa fotossintética). Em algumas espécies ocorre a coloração avermelhada ou arroxeadada e em outras a clorose e necrose dos tecidos. Na figura anterior observamos os sintomas de deficiência em algumas culturas.

Não são frequentes os sintomas de excesso de P, entretanto, existem indicações de que podem ocorrer pintas vermelho-escuras nas folhas velhas. O principal problema de

excesso de P é a sua interação antagonônica com micronutrientes catiônicos, especialmente o Zn, e em menor intensidade o Cu, Fe, Mn, causando a deficiência desses elementos.

## 2.3 Potássio (K)

Solos tropicais geralmente são pobres em K e não conseguem suprir as culturas por muitos anos sem adubação. A principal forma de entrada de K disponível no solo se dá através do intemperismo de minerais primários (feldspatos, muscovitas e biotitas) e secundários (argilas do tipo 2:1, ilita e vermiculita), que são ricos em K. Quando esses minerais são transformados em argilas 1:1, como a caulinita (que não tem K em sua estrutura), o K é liberado para a solução do solo.

### Potássio



- ❖ Forma assimilável =  $K^+$
- ❖ Um dos nutrientes mais requeridos pelas plantas.
- ❖ O requerimento de K para ótimo crescimento das plantas está entre 20 a 50 g/kg de matéria seca.
- ❖ Elemento mais móvel no sistema solo-planta e o cátion mais abundante dentro das plantas.
- ❖ Sintomas de deficiência iniciam nas folhas novas.
- ❖ Forma de distribuição do fertilizante:
  - Acima de 50 kg  $K_2O$  -> 1/3 plantio  
-> 2/3 cobertura
  - Inferior a 50 kg  $K_2O$  -> plantio.





### Potássio

**Um nutriente essencial para as plantas**

O potássio (K) é um elemento essencial para as plantas. Ele é um dos três nutrientes primários, como o nitrogênio (N) e o fósforo (P).

As plantas cultivadas contêm praticamente a mesma quantidade de potássio e nitrogênio, mas mais potássio que fósforo. Em muitas culturas de alta produtividade o teor de potássio excede o de nitrogênio.

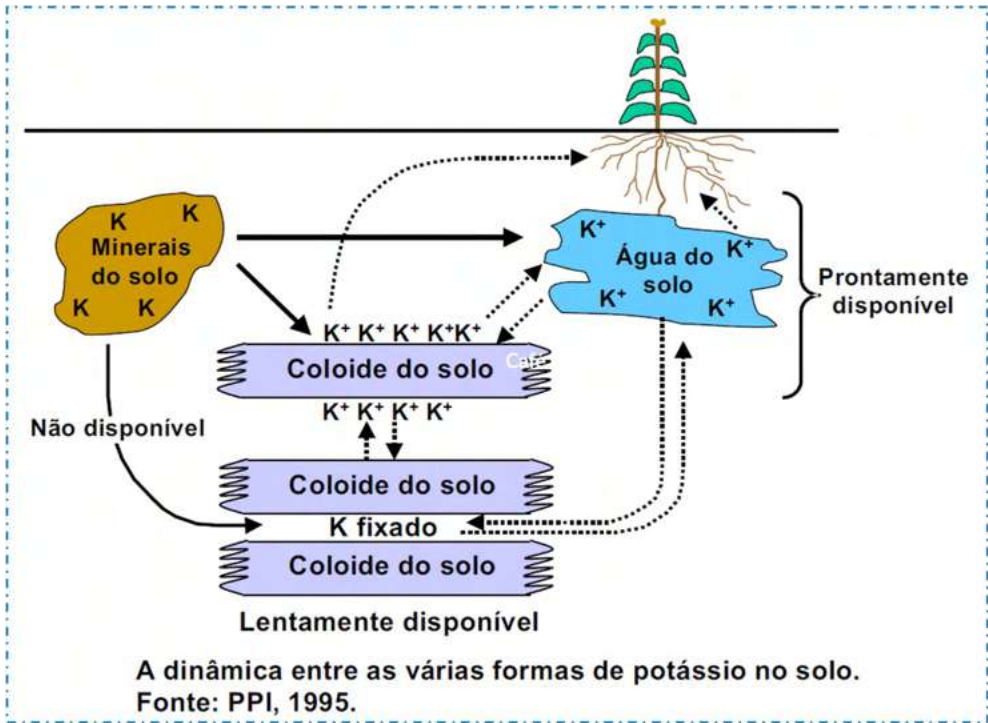
Cultura	Nível de produção (t)	K <sub>2</sub> O retirado pela cultura (kg)
Alfafa (feno)	18,0	538
Algodão (fibra)	1,0	95
Amendoim	2,0	92
Arroz (inundado)	6,0	130
Banana	40,0	1.000
Batata	40,0	310
Café (grãos limpos)	1,5	130
Citros	30,0	350
Coco (10.000)	-	200
Dendê	25,0	300
Juta (fibra seca)	2,0	160
Milho	6,0	120
Seringueira (látex seco)	2,5	65
Soja	3,0	150
Tomate	50,0	286
Trigo	6,0	180

Tabela: Potássio absorvido por algumas culturas comuns a um certo nível de produção



👉 @agrocollege

A mobilidade do K no solo depende da sua CTC, sendo que quanto menor a CTC, maior será a mobilidade do K e maior serão as perdas por lixiviação. Assim, em solos tropicais, o K disponível para as plantas é encontrado em percentuais muito baixos. São consideradas formas disponíveis o K que está em solução (K solúvel) e adsorvido ao complexo de troca (K trocável). Na figura a seguir temos a representação das formas de K no solo.

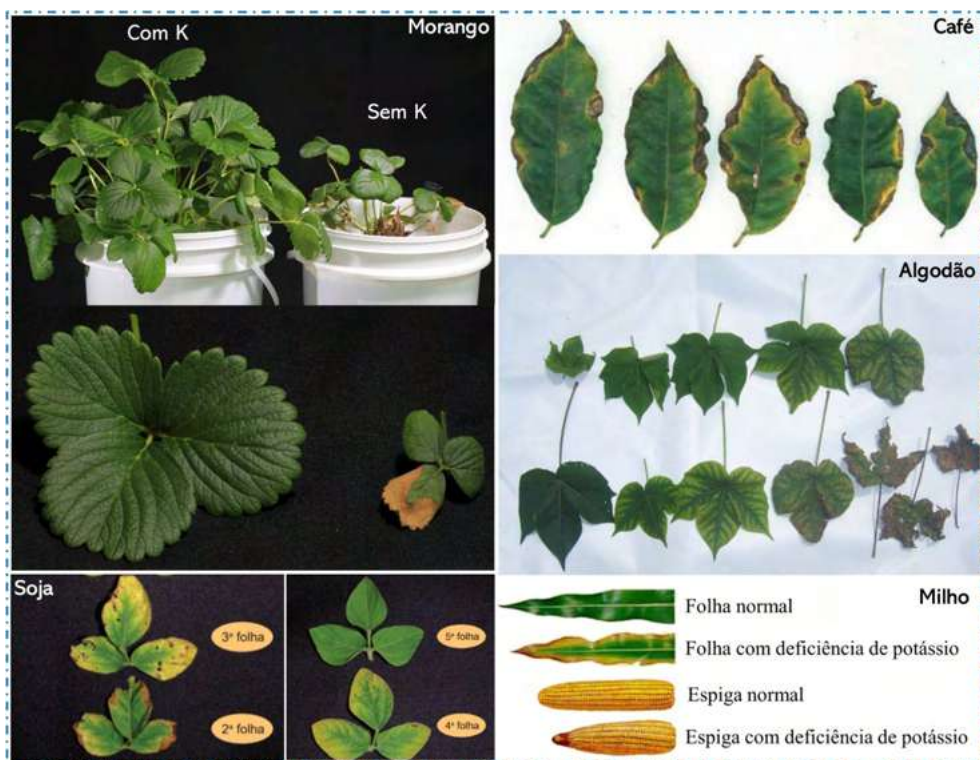


Adaptado de Lopes et al. (2004).

O principal mecanismo de contato íon-raiz é a difusão, porém em solos com CTC muito baixa o fluxo de massa pode ter uma contribuição considerável. O K é absorvido pelas raízes na forma iônica  $K^+$  por meio de vários sistemas (transportadores e em canais). Após a sua absorção, é transportado facilmente e rapidamente, via xilema, para a parte aérea. Ao contrário do N e do P, o K não forma compostos orgânicos nas plantas. Sua função principal está ligada ao metabolismo, estando envolvido em vários processos, como podemos conferir no quadro a seguir.

Funções metabólicas	
Ativação enzimática	Balço iônico
Síntese proteica	Abertura e fechamento dos estômatos
Fotossíntese	Translocação de micronutrientes, como o ferro
Respiração	Resistência a doenças
Assimilação do $CO_2$	Tolerância ao estresse climático (seca e frio)
Decomposição de carboidratos	Expansão celular

O K é móvel no floema, sendo facilmente redistribuído. Assim, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas velhas. Esses sintomas caracterizam-se por um amarelecimento das pontas e margens, que, posteriormente, secam e adquirem a cor marrom ou preta. Em algumas culturas, a deficiência de K desenvolve folhas com coloração verde-escura ou verde azulada, semelhante à deficiência de P. Devido a menor translocação de carboidratos da parte aérea para a raiz, a deficiência de K reduz o crescimento das raízes.



✦ Barreto et al. (2018) ✦ Mesquita et al. (2016) ✦ Borin et al. (2013) ✦ Oliveira Júnior et al. (2013) ✦ Plantae

Os sintomas de excesso de K podem ser confundidos com os danos causados pela salinidade, que é alta nos principais fertilizantes potássicos. O alto teor de K nas plantas pode induzir à deficiência de Ca e de Mg.

## 2.4 Cálcio (Ca)

As quantidades totais de Ca no solo variam de menos de 0,1% a mais de 25%, sendo que os maiores teores são encontrados em solos calcários e de regiões áridas. Isso porque o cálcio faz parte da estrutura de diversos minerais do solo, como dolomita e calcita,

que formam o calcário. Em regiões de solos não calcários a apatita e os feldspatos são a maior fonte de cálcio.

O Ca, similarmente ao K, existe como um cátion ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e, portanto, sua dinâmica é influenciada pela capacidade de troca de cátions do solo. Geralmente é o cátion básico dominante no solo, mesmo em pH baixo. Como outros cátions, ele está presente na solução do solo e é retido como  $\text{Ca}^{2+}$  trocável nas superfícies negativamente carregadas da argila e da matéria orgânica.

O principal mecanismo de contato íon-raiz é o fluxo de massa, mas como o Ca é pouco móvel no solo a interceptação radicular também tem contribuição considerável. Apesar do Ca ser absorvido em menor quantidade pelas plantas do que o K, na solução do solo ele deve estar em maior concentração do que o K e o Mg, pois a planta tem maior dificuldade de absorver o Ca, do que os outros cátions básicos.

Após absorvido é levado via xilema para os órgãos de assimilação e como é imóvel no floema, a planta deve ter acesso a esse nutriente no solo durante todo o seu ciclo, caso contrário pode apresentar sintomas de deficiência durante a formação de folhas novas e frutos.

A maior proporção de Ca está no apoplasto (espaço intercelular), onde está fortemente retido nas estruturas da parede celular (30-50% do Ca total da planta), também na superfície externa da plasmalema e dentro das células está concentrado no vacúolo e em menor parte no citoplasma.

Uma das principais funções do Ca é estrutural, como integrante da parede celular e da membrana celular, incrementando a resistência mecânica dos tecidos. Normalmente, quando as células crescem aumenta-se a superfície de contato entre elas, elevando a necessidade do suprimento de Ca (pectato de cálcio) para formação da pectina, conferindo a alongação da parede celular até atingir o tamanho final, onde será depositada lignina, tornando aí, a parede celular rígida.

Função	
Estrutural	Metabólica
Pectato de cálcio	Elongação e divisão mitótica celular
Parede celular	Neutralização do citosol
Membrana plasmática	Resistência a doenças
Membrana de organelas	Germinação do grão de pólen
	Crescimento do tubo polínico
	Formação de nódulos
	Osmorregulação

O Ca é muito importante na fase vegetativa, na formação da parte aérea, da raiz e dos nódulos das plantas, e na fase reprodutiva, na formação do tubo polínico, na germinação dos grãos de pólen e na formação dos frutos. O Ca também possui a função de neutralizador de ácidos orgânicos no citosol e na osmorregulação, neste caso, atuando no fechamento dos estômatos.

Como o Ca é imóvel no floema, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nos tecidos jovens e meristemas apicais. Esses sintomas são caracterizados por redução no crescimento do sistema radicular, em casos severos, o ponto de crescimento da raiz morre. As raízes deficientes em cálcio geralmente escurecem e apodrecem. As folhas e outros tecidos jovens desenvolvem sintomas porque precisam de pectato de Ca para a formação da parede celular. Assim, as deficiências de Ca causam um aspecto gelatinoso nas pontas das folhas jovens e nos pontos de crescimento. Baixa frutificação, baixa produção de sementes e colapso do pecíolo também são sintomas da deficiência de Ca.

O excesso de Ca é altamente tolerado pelas plantas, sendo que seu teor em folhas velhas pode atingir cerca de 10% de Ca, sem sintomas de toxicidade. O principal problema que o excesso de Ca pode causar é a deficiência induzida de magnésio ou de potássio, especialmente se a concentração destes cátions estiver de média a baixa no solo.



☞ Mesquita et al. (2016)    ☞ Barreto et al. (2018)    ☞ Plantae

## 2.5 Magnésio (Mg)

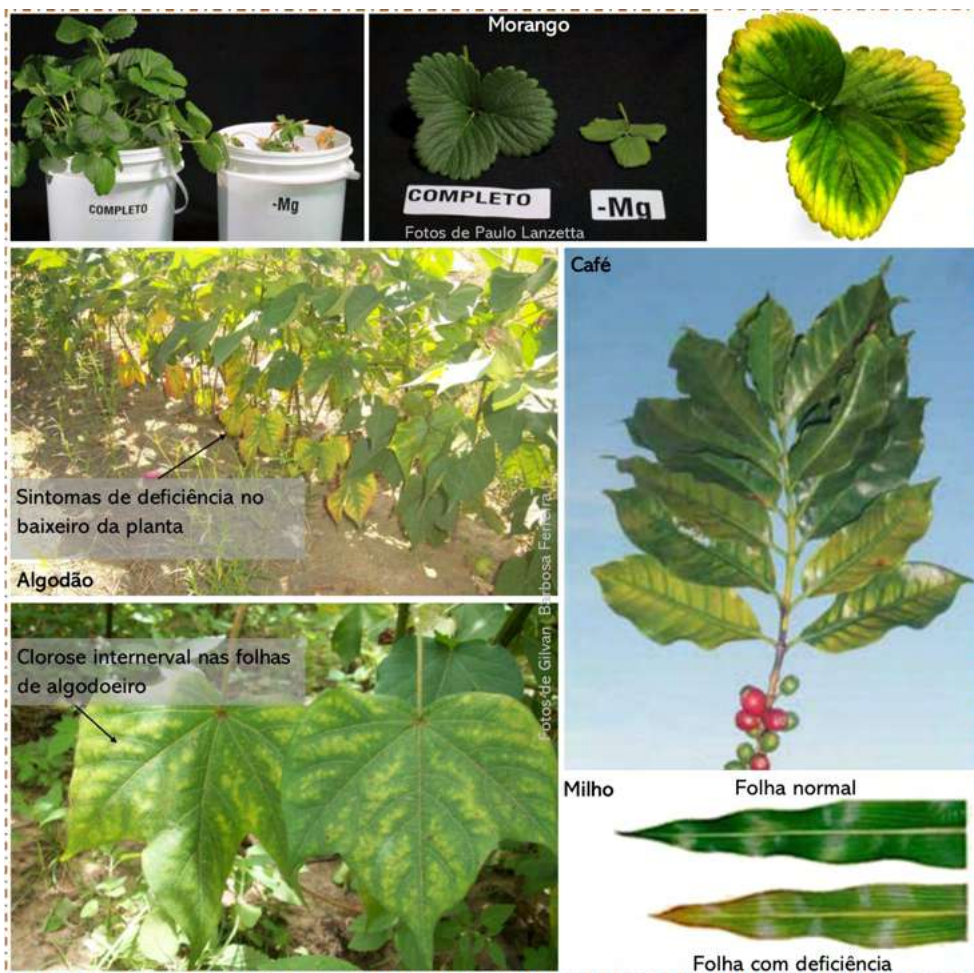
O Mg natural do solo vem do intemperismo de minerais, como biotita, hornblenda, dolomita e clorita. Sendo um cátion ( $Mg^{2+}$ ), a dinâmica do Mg também é influenciada pela CTC. Ele é encontrado na solução do solo e adsorvido às superfícies da argila e da matéria orgânica (Mg trocável).

Os solos geralmente contêm menos Mg do que Ca, pois o Mg é mais solúvel e sujeito a maior lixiviação. Além disso, os minerais contêm, em geral, menos Mg do que Ca. Os solos com menores taxas de Mg são os solos ácidos, de baixa CTC sob condições de elevado índice pluviométrico.

O Mg entra em contato com a raiz por fluxo de massa e interceptação radicular, é absorvido na forma iônica ( $Mg^{2+}$ ) e transportado para os órgãos de assimilação via xilema. Ao contrário do Ca, o Mg é móvel no floema, podendo ser redistribuído na planta. O Mg é o átomo central da clorofila e, conseqüentemente, está envolvido ativamente na fotossíntese. É um importante ativador enzimático e auxilia o processo de absorção de fosfato. Pequena

parte do Mg acompanha o Ca na formação da parede celular.

Função estrutural	
Átomo central da clorofila	Parede celular
Função metabólica	
Absorção iônica	
Fotossíntese	Síntese orgânica
Respiração	Balanço eletrolítico
Armazenamento/transferência de energia	Estabilidade dos ribossomos



↵ Barreto et al. (2018)

↵ Borin et al. (2013)

↵ Mesquita et al. (2016)

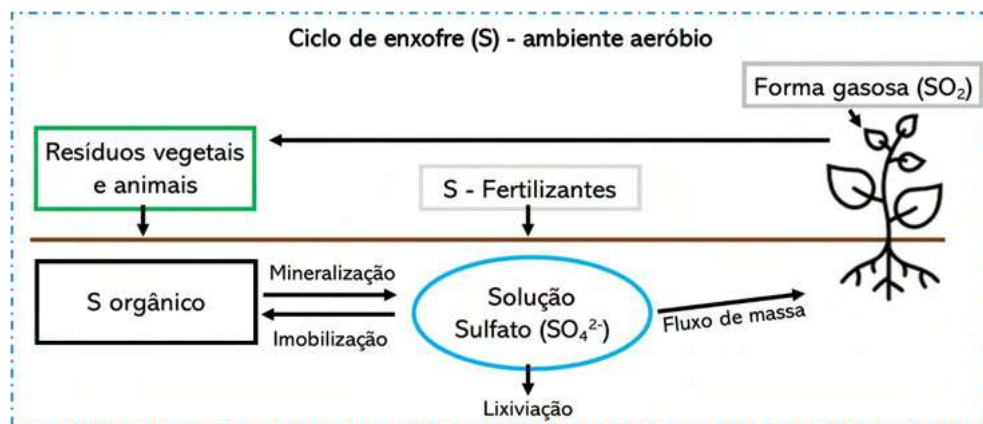
↵ Plantae

Na figura anterior, observamos os sintomas de deficiência de Mg em algumas culturas. Eles aparecem primeiro nas folhas mais velhas, e se caracterizam por uma clorose internerval, podendo ser acompanhada de manchas amareladas, que podem se unir formando faixas ao longo das margens da folha, que se tornam avermelhadas ou outra pigmentação. A clorose inicia-se com manchas, que depois se juntam e espalham para as pontas e margens das folhas.

O fornecimento de Mg em excesso resulta em deposição do elemento na forma de diferentes sais nos vacúolos celulares, e não são descritos na literatura, efeitos prejudiciais ao desenvolvimento e produção das plantas.

## 2.6 Enxofre (S)

O ciclo do S compreende vários compartimentos, como rochas, solo, água, atmosfera e seres vivos, assim, esse elemento está presente em todos os ambientes do planeta. Nos solos, a sua concentração varia de 0,1%, em solos minerais, até 1%, em solos orgânicos. No entanto, tanto em solos minerais quanto orgânicos, a maior parte do S se encontra na forma orgânica (60-90% do total). Assim, os processos microbiológicos têm influência direta na dinâmica desse nutriente, e solos arenosos e com baixo teor de matéria orgânica, podem apresentar pouca capacidade de suprir as plantas com esse elemento. Abaixo vemos um ciclo resumido do S no sistema solo, planta e atmosfera.



Ao contrário do N, a planta consegue absorver o S diretamente da atmosfera, porém essa forma de absorção só é relevante em ambientes com alta concentração de S, como próximo a vulcões e zonas industriais. Assim, a principal forma de absorção de S é via solo na forma de sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), que pode vir da mineralização da matéria orgânica ou de

fertilizantes minerais.

O S possui vários estados de oxidação a depender da concentração de  $O_2$  no solo. Em solos aerados esse elemento é encontrado na forma de sulfato. Em solos com baixa pressão de oxigênio (alagados ou muito compactados) o S é reduzido, como podemos observar a seguir.

	Meio anaeróbico (sem $O_2$ )		Meio aeróbico (com $O_2$ )		
<b>Estado de oxidação</b>	$S^{2-}$	$S^0$	$S^{2+}$	$S^{4+}$	$S^{6+}$
<b>Composto ou íon</b>	$H_2S$ Sulfetos	S Enxofre elementar	$S_2O^{3-}$ Tiosulfato	$S_2O$ Dióxido de enxofre	$S_4O^{2-}$ Sulfatos
<b>Condição de campo</b>	Solo compactado e/ou inundado		Solo poroso e bem drenado		
<b>Reação</b>	$\leftarrow$ Redução $\leftarrow$ $\rightarrow$ Oxidação $\rightarrow$				

Cuidado especial deve ser dado a solos alagados com acúmulo de matéria orgânica. Como a matéria orgânica é uma importante fonte de S, esses solos possuem quantidade considerável de S nas suas formas reduzidas. A drenagem desses solos leva à oxidação do S a sulfatos, que podem vir a formar ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). Essa reação leva à redução do pH a níveis tão baixos ( $< 3,5$ ) que tornam a agricultura impraticável.

Em ambientes bem drenados, os solos que sofrem adições de sulfato, seja de origem mineral ou orgânica, podem sofrer grandes perdas pelo processo de lixiviação, pois o sulfato apresenta alta mobilidade no solo e pouca retenção nos coloides.

O S entra em contato com a raiz da planta por fluxo de massa, como vimos na figura anterior. Em seguida é absorvido na forma de sulfato e transportado via xilema para a parte aérea, onde é assimilado primeiramente na forma de cisteína, que se deriva ou é precursora de outros compostos orgânicos com S (S-aminoácidos; proteínas; sulfolípídeos e coenzimas). Após assimilado, o S não é redistribuído na planta, devido a sua baixa mobilidade no floema.

A maior parte do S na planta é convertido a aminoácidos essenciais que irão compor proteínas e enzimas. Assim, o S participa de estruturas orgânicas e de diversas reações enzimáticas, sendo que a sua deficiência pode trazer prejuízos também na síntese proteica,

como um acúmulo de N (N-nitrato ou N-orgânico), promovendo uma redução do teor de proteína nas plantas e no crescimento vegetal.

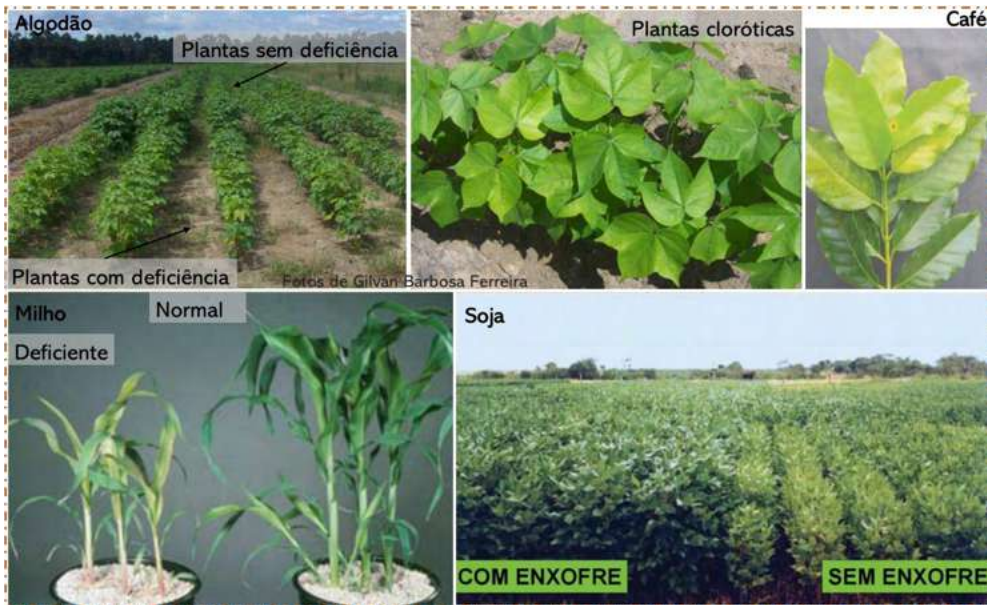
No quadro a seguir vemos um resumo das funções do S nas plantas.

Função	
Estrutural	Metabólica
Aminoácidos (cisteína; cistina; metionina)	Fotossíntese
Proteínas (todas)	Fixação não fotossintética de CO <sub>2</sub>
Vitaminas	Respiração
Enzimas e coenzimas	Síntese de gorduras e proteínas
Ésteres com polissacarídeos	Fixação biológica de nitrogênio
Membranas (especialmente dos tilacoides)	

Plantas nutridas adequadamente com S apresentam maior tolerância à toxidez de metais (Co e Cd) em áreas contaminadas do que plantas deficientes, pois os vegetais desenvolvem mecanismos de produção de proteínas pequenas ricas em cisteína (metalotioninas), que têm a função de reduzir as formas livres desses elementos no tecido vegetal.

Como é um elemento pouco móvel no floema, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas novas e são caracterizados por uma clorose, similar à da deficiência de N. Com o agravamento da sintomatologia, pode ocorrer clorose distribuída de forma uniforme tanto nas folhas novas como nas velhas. Assim, é importante observar os sintomas na sua fase inicial para conseguir distinguir se é deficiência de S (folhas novas) ou de N (folhas velhas). No caso das leguminosas (soja, feijão etc.), a deficiência de S inibe a fixação biológica do N, assim podemos confundir a deficiência de S com a de N.

Outros sintomas que podem ser observados são: enrolamento das margens das folhas; folhas pequenas; necrose e desfolhamento; internódios curtos; redução de florescimento; e plantas raquíticas. Observe exemplos na figura a seguir.



👉 Borin et al. (2013)

👉 Mesquita et al. (2016)

👉 o blog da aegro

Não é comum ocorrer problemas com excesso de S no solo, pois as plantas, no geral, são relativamente tolerantes a altos níveis de sulfato. Porém, em solos com alta concentração de sulfato (50 mM), podem ocorrer sintomas de excesso, que são confundidos com os efeitos de salinidade, como o pequeno desenvolvimento da planta e a intensa coloração verde-escura das folhas. Além disso, pode ocorrer senescência prematura de folhas.

## 2.7 Boro (B)

A principal fonte de B para as plantas é a matéria orgânica. Assim, solos com baixo teor de matéria orgânica e/ou baixa taxa de mineralização da matéria orgânica (umidade elevada, temperaturas baixas etc.) podem apresentar concentração de B insuficiente para a nutrição adequada das plantas. Outro fator que pode levar a baixos níveis de N no solo é a alta pluviosidade, principalmente em solos arenosos, devido às altas taxas de lixiviação do B.

É importante conhecer os níveis de B no solo e, sempre que a concentração estiver baixa ( $< 0,20 \text{ m/dm}^3$ ) ou média ( $0,20\text{-}0,60 \text{ m/dm}^3$ ) existe potencial de resposta das plantas à aplicação deste micronutriente, que pode variar em função das diferentes culturas.

O contato íon-raiz ocorre principalmente por fluxo de massa e, logo, é afetado pela

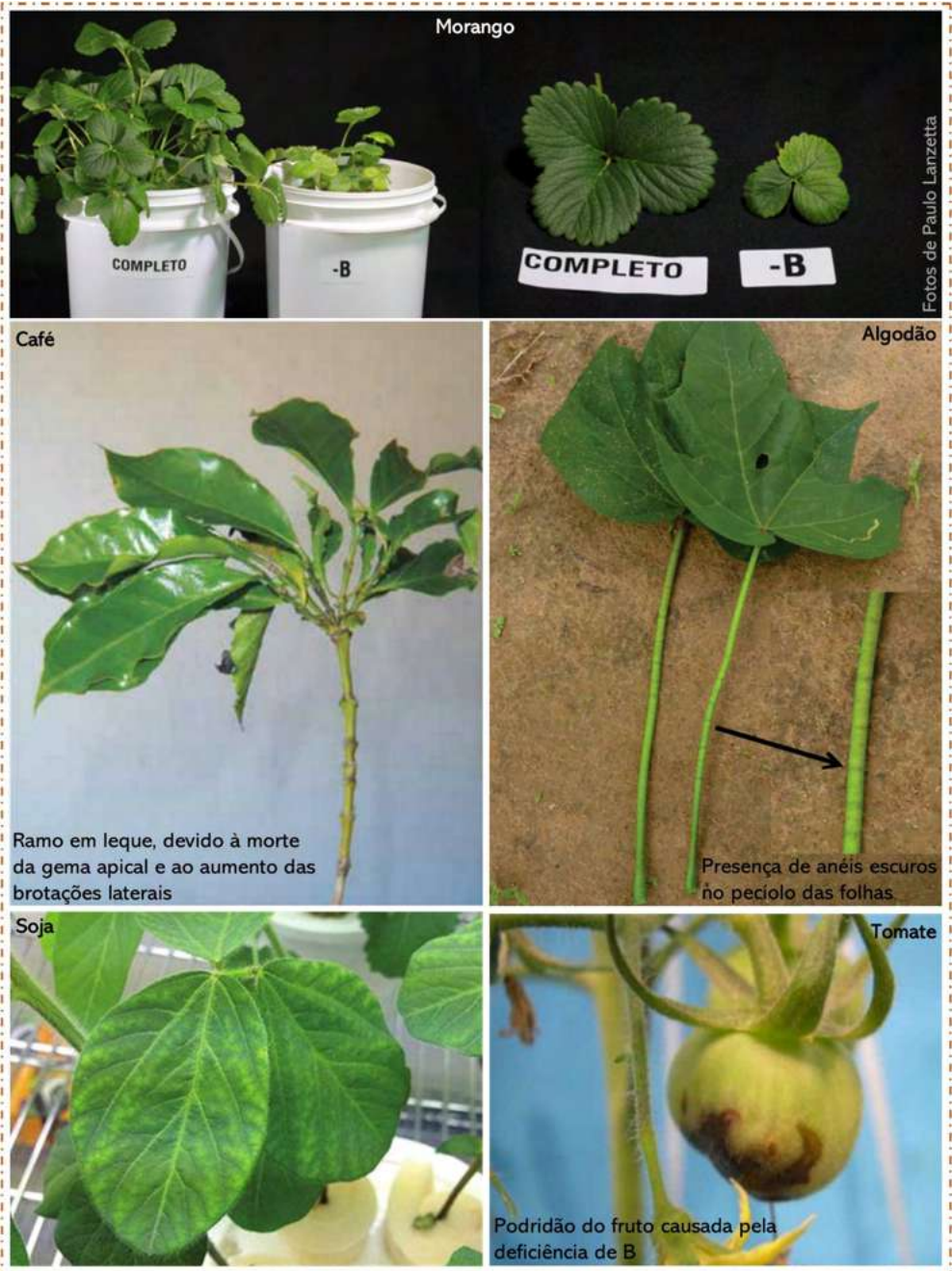
taxa transpiratória da planta. O B é absorvido via raízes nas formas  $H_3BO_3$  (preferencial) e  $H_2BO_3^-$ . Uma vez absorvido, o B é transportado para a parte aérea via xilema, por meio da corrente transpiratória. Após assimilado, esse elemento não é redistribuído, pois é imóvel no floema na maioria das culturas. Assim, esse elemento deve estar disponível no solo (próximo à raiz) durante todo o ciclo da planta.

Algumas plantas são capazes de mobilizar o B no floema, a partir da produção de polióis (açúcar simples), que se ligam com o B e formam um complexo “Açúcar-B”, que torna o B móvel na planta. Com isso, foram desenvolvidos adubos foliares que contêm o complexo “Açúcar-B” e garantem a mobilidade desse elemento no floema. Esse tipo de adubo é recomendado quando no lugar de aplicar o adubo no solo, a opção for realizar a adubação foliar.

As principais funções do B na planta são: síntese da parede celular e alongamento celular; integridade da membrana plasmática; transporte de carboidratos; e germinação do grão de pólen e desenvolvimento do tubo polínico.

Como o B é imóvel no floema, os sintomas de deficiência ocorrem nos órgãos novos, folhas ou raízes. O papel do B nas plantas ajuda a explicar sintomas de deficiências: inibição do crescimento da parte aérea e das raízes e até morte das gemas terminais (podendo estimular brotações laterais); encurtamento dos internódios, folhas/frutos pequenas e deformadas; folhas engrossadas (acúmulo de carboidratos) duras e até quebradiças; pequena produção de sementes; folhas necrosadas; caule enrugado e rachado e, muitas vezes, com manchas ou estrias de cortiça; e presença de nervuras salientes.

O limite entre a dose adequada e a tóxica é pequeno, portanto, podem ocorrer sintomas de toxidez com teor alto deste elemento no solo ou em aplicações foliares, a depender da espécie de planta. Normalmente, os sintomas caracterizam-se como clorose malhada e depois manchas necróticas nos bordos das folhas mais velhas (regiões de acúmulo de B), devido à maior taxa de transpiração nestes locais.



✎ Barreto et al. (2018) ✎ Mesquita et al. (2016) ✎ Borin et al. (2013) ✎ Hansel e Oliveira (2016) ✎ Oliveira et al. (2009)

## 2.8 Molibdênio (Mo)

O Mo é encontrado no solo na matéria orgânica e na forma mineral, como molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ). A dinâmica do molibdato é similar à do fosfato. Assim, em solos ácidos o molibdato sofre forte adsorção aos oxihidróxidos de Fe e Al. Percebemos a importância da correção da acidez para disponibilizar esse elemento às plantas.

O contato íon-raiz é basicamente por fluxo de massa, especialmente em concentrações altas no solo. Normalmente, o Mo é absorvido como  $\text{MoO}_4^{2-}$ , quando o pH do meio é igual ou maior que 5,0 e, como  $\text{HMoO}_4^-$ , quando o pH é menor que 5,0. A presença de outros íons pode afetar a absorção do Mo sendo que o  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  tem efeito sinérgico, e outros nutrientes, como  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Zn}^{2+}$  inibem a sua absorção.

Após absorvido o Mo é transportado via xilema para a parte aérea, na forma de  $\text{MoO}_4^{2-}$  complexado com compostos orgânicos. Após assimilado, o Mo é pouco móvel no floema para a maioria das espécies, sendo pouco redistribuído. Assim, a planta deve ter esse elemento disponível no solo durante todo o seu período de exigência.

O Mo participa como constituinte de várias enzimas, especialmente as que atuam no metabolismo do N e do S, que estão relacionadas com a transferência de elétrons. O Mo faz parte da enzima nitrogenase, responsável pela fixação biológica de N, e da nitrato e nitrito redutase, afetando a assimilação do N na planta.

Os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas velhas, caracterizados por uma clorose internerval, semelhante à deficiência de Mn, em que as margens das folhas tendem a curvar-se para cima ou para baixo. Devido à sua relação com o metabolismo do N, podem aparecer sintomas de deficiência de N nas plantas, devido à carência de Mo.

A toxicidade de Mo em plantas não é comum, sendo verificada apenas quando há teores muito altos no solo ou na adubação foliar. Em soja, por exemplo, foi verificado que a concentração de 160 g/ha de Mo na forma de molibdato de amônio, aplicado via foliar, podem provocar efeito tóxico às plantas. A toxicidade de Mo pode resultar em clorose internerval das folhas, semelhante à deficiência de Fe, e as folhas novas podem ficar distorcidas. É importante destacar que as plantas podem apresentar maior tolerância que os animais ao excesso de Mo. Assim, forrageiras com alto teor de Mo (5 a 10 mg/kg de matéria seca) podem causar toxidez (molibdenose) em ruminantes.

A seguir vemos exemplos de deficiência de Mo em algumas culturas.



👉 Ferreira (2012)    👉 Hansel e Oliveira (2016)

## 2.9 Cloro (Cl)

O Cl é o micronutriente requerido em maior quantidade pelas plantas e o mais móvel. A soma dessas condições poderia levar a sintomas frequentes de deficiência nas plantas, porém isso não ocorre porque a principal fonte de potássio para a agricultura é o cloreto de potássio (KCl) que possui cloro em sua composição.

A disponibilidade de Cl, assim como de Mo, é aumentada com a elevação do pH. Devido a sua elevada mobilidade, geralmente não são observados níveis tóxicos nos solos, no entanto altos níveis de Cl podem ocorrer em solos sódicos, alcalinos ou salinos encontrados em regiões áridas do Nordeste brasileiro.

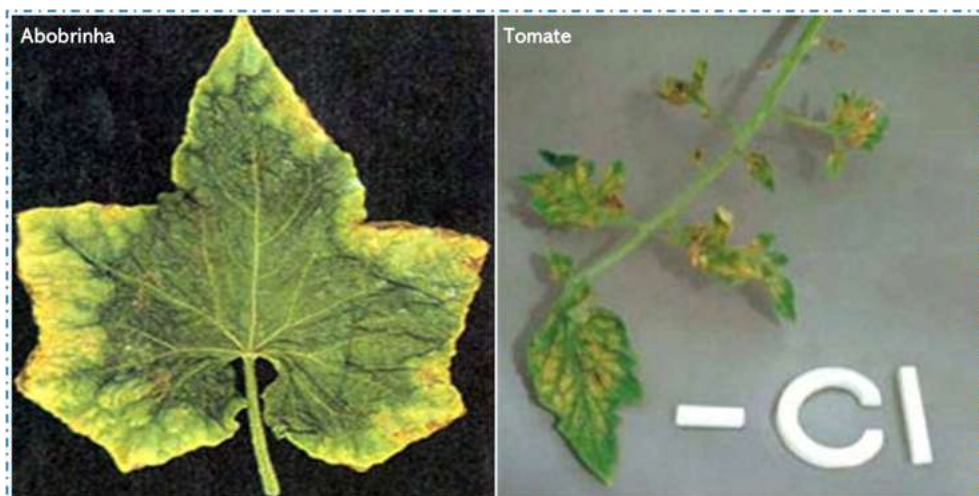
O principal mecanismo de contato íon-raiz é o fluxo de massa, sendo absorvido na de cloreto (Cl<sup>-</sup>). A sua absorção pode ser inibida competitivamente por NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Após absorvido é transportado via xilema para a parte aérea ainda como cloreto. Apresenta elevada redistribuição por ser móvel no floema.

A principal função do Cl nas plantas é enzimática, como cofator de enzima que atua na fotólise da água (etapa da fotossíntese) e outras enzimas como as ATPases do tonoplasto. Também atua no controle osmótico, no mecanismo de abertura e fechamento

de estômatos e balanço de cargas elétricas.

Os sintomas de deficiência dependem da cultura, sendo que podem aparecer primeiro nas folhas mais velhas (tomateiro, alface, repolho, beterraba) ou nas mais novas (milho, abobrinha). Os sintomas são caracterizados por murchamento, clorose, bronzeamento e deformação da folha que toma aspecto de taça “*cupping*”. As raízes se desenvolvem menos, ficando grossas e com pouca ramificação lateral.

Problemas com excesso de Cl são raros e quando ocorrem os sintomas visuais são semelhantes aos da deficiência.



👉 AgroBrasil

## 2.10 Ferro (Fe)

O Fe se encontra nos minerais escuros (biotitas, anfibólios, piroxênios e olivinas) das rochas e, partir do intemperismo desses minerais é liberado para a solução e/ou transformado na estrutura cristalina dos minerais secundários. Assim, geralmente, os níveis de Fe total do solo são altos, porém a sua disponibilidade depende de alguns fatores, como pH, umidade e aeração do solo.

O Fe é absorvido pelas plantas na forma de  $\text{Fe}^{2+}$ , que é mais frequente em solos com pH ácido (< 6,0) e com a diminuição do potencial de oxirredução (Eh) do solo. Em solos muito aerados a concentração iônica  $\text{Fe}^{2+}$  é baixa, pois o Fe encontra-se formando os minerais do tipo óxidos. Portanto, pode ser comum a deficiência de Fe em determinadas regiões cultivadas no Brasil.

Existem outros fatores que afetam a disponibilidade de Fe, como desbalanço em relação a outros nutrientes (níveis elevados de Mo, Cu, Mn e P podem induzir à deficiência de Fe) e baixos níveis de matéria orgânica no solo.

O contato íon-raiz recebe maior contribuição do fluxo de massa; entretanto, o processo de difusão e interceptação radicular também são importantes. A forma preferencial absorvida pelas raízes é  $\text{Fe}^{2+}$ , entretanto, pode ser absorvido como  $\text{Fe}^{3+}$  e quelatos. O transporte do Fe para a parte aérea se dá pelo xilema, via corrente respiratória, predominantemente na forma de quelato do ácido cítrico. Após assimilado, o Fe é pouco redistribuído na planta.

A maior parte do Fe nas plantas (~ 80%) está localizada nos cloroplastos, como fitoferritina (proteína de reserva). Em geral, é importante na biossíntese de clorofila e proteínas, nos constituintes enzimáticos que transportam elétrons e na ativação de enzimas. Ele é essencial para síntese de proteínas e ajuda a formar alguns sistemas respiratórios enzimáticos. Assim, esse micronutriente participa de importantes processos metabólicos das plantas, como a fotossíntese, respiração, fixação biológica de N e assimilação de N e de S.

A planta deficiente em Fe apresenta alterações fisiológicas (diminuição da clorofila e da taxa fotossintética) e bioquímicas (diminuição da atividade da peroxidases e catalase e aumento da concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Como possui baixa mobilidade no floema, os sintomas aparecem, inicialmente nas partes jovens das plantas, na forma de clorose (folhas amarelecem) internerval (apenas as nervuras ficam verdes, formando uma rede verde fina das nervuras sobre o fundo amarelo), podendo evoluir para um “branqueamento”. Entretanto, com a evolução da sintomatologia até as nervuras tornam-se cloróticas.

A toxidez de Fe pode ocorrer em períodos de excesso de chuvas ou em solos alagados, como o arroz inundado. Os sintomas variam de uma cultura para outra, mas, em geral, as folhas se tornam mais claras, com lesões desde enegrecidas até cor palha nas margens, que podem ter um aspecto quebradiço.



👉 Barreto et al. (2018)    👉 Mesquita et al. (2016)    👉 Ferreira (2012)    👉 Rosa et al. (2009)

## 2.11 Manganês (Mn)

O Mn é o segundo micronutriente mais abundante em solos tropicais, atrás apenas do Fe. A disponibilidade desse elemento no solo depende principalmente do pH, do potencial de oxirredução, da matéria orgânica e do equilíbrio com outros elementos.

A forma de Mn disponível às plantas é o íon  $Mn^{2+}$ , porém esta corresponde a pequena fração do Mn no solo, pois a maior parte está na forma de óxidos  $Mn^{3+}$  ( $Mn_2O_3 \cdot nH_2O$ ) ou  $Mn^{4+}$  ( $MnO_2 \cdot nH_2O$ ), que são formas indisponíveis às plantas. A disponibilidade do Mn aumenta com a redução do pH, assim em solos ácidos, pode ocorrer concentração alta

de Mn e problemas de toxidez nas plantas, e afetar a absorção do Zn. Em condição de pH básico a sua disponibilidade diminui, causando deficiências nas plantas, especialmente em solos originalmente pobres nesse nutriente.

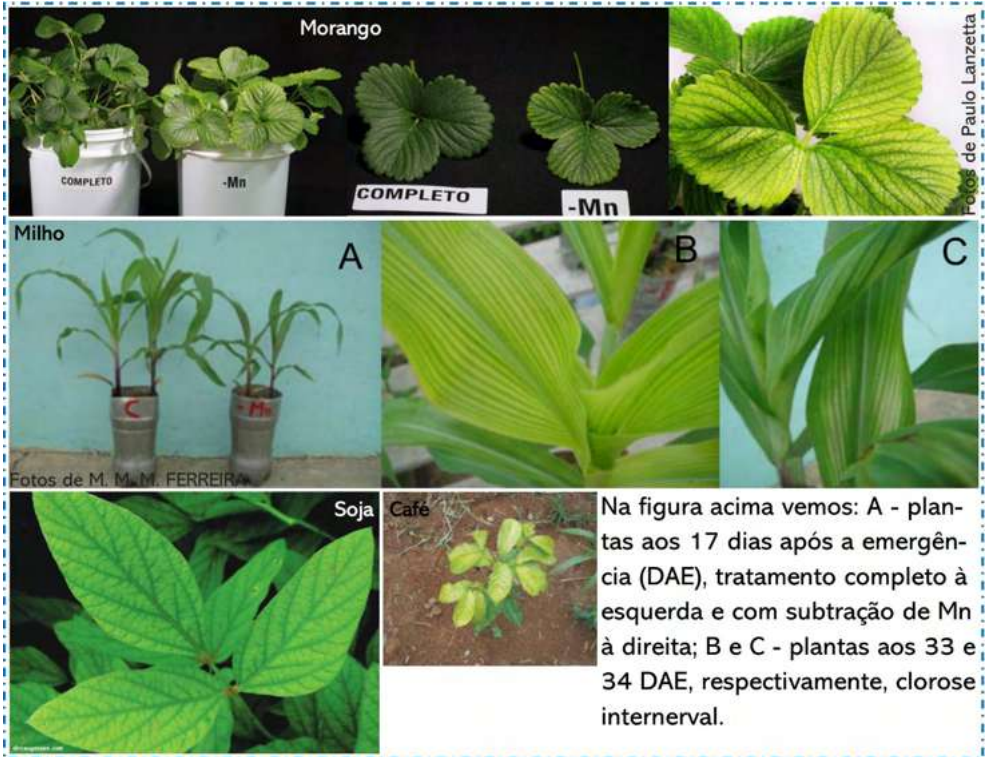
O contato íon-raiz se dá por meio da interceptação radicular e difusão e, portanto, a planta necessita desse elemento próximo das raízes. Como o  $Mn^{2+}$  tem raio iônico semelhante aos nutrientes  $Ca^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , a presença desses elementos pode inibir sua absorção e até o seu transporte na planta. Por outro lado, altas concentrações de  $Mn^{2+}$  podem inibir a absorção do  $Fe^{2+}$  e  $Zn^{2+}$ .

Após absorvido o  $Mn^{2+}$  é transportado via xilema para a parte aérea. A sua mobilidade no floema é muito baixa e, portanto, sua redistribuição na planta é limitada. Dentro da célula, o  $Mn^{2+}$  é muito suscetível a mudanças no seu estado de oxidação para  $Mn^{3+}$ ,  $Mn^{4+}$  e  $Mn^{6+}$ . Devido a essa característica, esse elemento atua no transporte de elétrons na fotossíntese e na desintoxicação dos radicais livres de oxigênio. Mas a sua principal função, juntamente com o Cl, é a quebra fotoquímica da molécula de água (ciclo de Hill), participando ativamente da fotossíntese.

Os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas jovens, sendo caracterizados por clorose (amarelecimento) internerval (as nervuras formam rede verde espessa sobre um fundo amarelo).

Os sintomas de toxidez também aparecem primeiro nas folhas jovens, e são caracterizados por clorose marginal, pontuações marrons (pontos de acumulação do Mn) que evoluem para necróticas e encarquilhamento das folhas, especialmente em plantas leguminosas. Uma forma de reduzir a toxicidade do Mn é aumentar a concentração de Mg no solo, induzindo a absorção competitiva.

A seguir vemos exemplos de sintomas de deficiência de Mn em algumas culturas.



👉 Barreto et al. (2018)    👉 Ferreira (2012)    👉 Hansel e Oliveira (2016)    👉 Mesquita et al. (016)

## 2.12 Cobre (Cu)

A forma disponível de Cu para as plantas é cátion  $\text{Cu}^{2+}$ . A sua dinâmica no solo tem forte relação com coloides orgânicos. A cargas da matéria orgânica têm grande afinidade por esse elemento, sendo ele atraído e adsorvido aos coloides orgânicos. Assim, a maior fração de Cu no solo está formando complexos organominerais. Portanto, pode-se inferir que quanto maior o teor de matéria orgânica no solo, menor a disponibilidade de Cu às plantas.

Assim como para os demais elementos, a disponibilidade do Cu é fortemente afetada pelo pH do solo. Sua disponibilidade aumenta com a redução do pH. Em solos com baixa ( $< 0,3 \text{ mg/dm}^3$ ) e média ( $0,3\text{-}1,0 \text{ mg/dm}^3$ ) concentração de Cu possuem elevado potencial de respostas das culturas à adubação com esse elemento. As culturas mais suscetíveis à deficiência de Cu são os cereais (trigo, milho, arroz, aveia, cevada); entretanto, pode ocorrer em outras culturas (hortaliças e frutíferas).

O contato com a raiz ocorre majoritariamente por fluxo de massa, porém a pequenas distâncias. Assim, é importante fornecer esse elemento próximo às raízes das plantas. A

forma preferencial de absorção pelas plantas é a forma iônica  $\text{Cu}^{2+}$ , porém também pode acontecer a absorção de Cu complexado a compostos orgânicos. Há competição entre Cu, Zn e Fe pelos mesmos sítios de absorção, logo o excesso de Cu pode levar a deficiência de Zn e Fe. Após a absorção, o Cu é transportado para a parte via xilema quelado a aminoácidos. E depois de assimilado é pouco móvel no floema sendo pouco redistribuído na planta.

Uma das principais funções do Cu é como ativador ou constituinte de enzimas. A maior parte do Cu está presente nos cloroplastos das folhas, e atua na ativação enzimática. Protege a planta dos efeitos danosos dos radicais superóxidos ( $\text{O}_2^-$ ). Ativa enzimas responsáveis pela síntese de lignina (importante composto para a estrutura da planta). Atua no transporte de carboidratos para o sistema radicular e aumenta a produção de leghemoglobina, sendo importante para a manutenção da fixação biológica de N em leguminosas.

Os sintomas de deficiência de Cu são mais difíceis de identificar do que os dos outros nutrientes e variam segundo cada espécie. Em casos de deficiência moderada apenas reduz o crescimento e a colheita, sem sintomas visuais específicos. A menor produção se deve à maior esterilidade dos grãos de pólen.

Quando a deficiência é severa os sintomas aparecem primeiro nas partes jovens da planta, caracterizados por amarelecimento ou coloração verde-azulada das folhas, que ficam murchas ou com as margens enroladas para cima. As folhas podem ainda ficar maiores que as normais. Esse parece um sintoma estranho para a deficiência de um elemento, mas ocorre pelo fato de que o Cu atua na lignificação da parede celular, portanto na sua ausência a parede é menos rígida e o conteúdo celular se expande, podendo até provocar o tombamento das plantas.

A toxidez de Cu não é comum, mas podem ocorrer danos pelo seu excesso caracterizados pela redução do crescimento da planta, principalmente do sistema radicular. As raízes ficam curtas, grossas e menos ramificadas. Também podem ocorrer sintomas de deficiência induzida de Fe e Zn.

A seguir vemos exemplos de sintomas de deficiência de Cu em algumas culturas.



Na figura acima vemos: A - planta aos 16 dias após a emergência (DAE) com clorose interveinal das folhas mais novas; B - planta aos 34 DAE com 'película' de tecido no terço médio da lâmina foliar das folhas mais novas; e C - plantas aos 33 DAE com sintomas de 'encarquilhamento'.



Folhas novas com nervuras secundárias salientes, com aspecto de "costelas" e manchas cloróticas irregularmente distribuídas.

👉 Ferreira (2012)

👉 Hansel e Oliveira (2016)

👉 Mesquita et al. (2016)

## 2.13 Zinco (Zn)

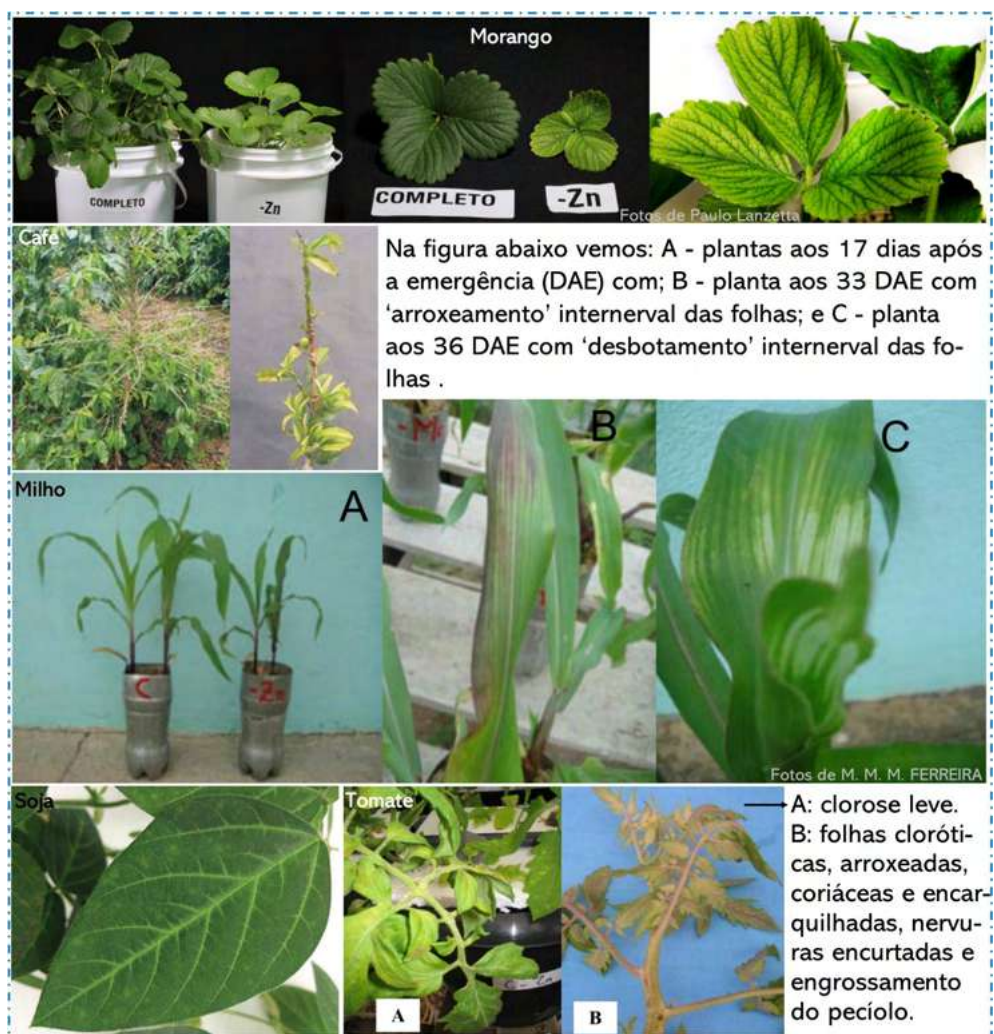
O Zn frequentemente é um nutriente limitante para a maioria das culturas, devido a sua baixa disponibilidade no solo. Sua dinâmica é influenciada por diversos fatores, o principal é o pH do solo. Quanto mais alto for o pH, menos Zn disponível em solução. A adubação fosfatada também é um fator importante, pois o P pode precipitar com o Zn, reduzindo a sua disponibilidade. Grande parte do Zn pode se tornar indisponível pela fixação nos minerais de argila e na matéria orgânica.

O Zn é absorvido na sua forma iônica ( $Zn^{2+}$ ) e entra em contato com a raiz, principalmente por difusão. Assim é importante que esse elemento seja disponibilizado próximo ao sistema radicular. Após ser absorvido é mobilizado via xilema para a parte aérea, após a sua assimilação é pouco redistribuído na planta, devido a sua baixa mobilidade no floema. Portanto, é necessário que a planta possa absorver Zn durante todo o seu período de demanda.

Ao contrário do Fe e Mn, não sofre alteração no seu estado de oxidação e, portanto,

não participa de reações de transferência de elétrons. Assim, a sua principal função é como ativador de várias enzimas, podendo até mesmo constituir algumas delas. Participa de processos importantes da planta, como síntese de ácido indol acético, redução do nitrato, síntese de proteínas, fotossíntese (formação da clorofila) e manutenção da integridade das membranas.

Os sintomas de deficiência de Zn aparecem primeiro nas folhas velhas e se caracterizam pelo encurtamento dos internódios, folhas pequenas com faixas amareladas ou brancas entre a nervura e bordas das folhas.



↪ Barreto et al. (2018) ↪ Mesquita et al. (2016) ↪ Ferreira (2012) ↪ Hansel e Oliveira (2016) ↪ Rosa et al. (2009)

Na figura anterior temos exemplos de sintomas de deficiência de Zn em algumas culturas. Os sintomas de toxidez consistem na redução da área foliar, clorose e pode ocorrer um pigmento pardo-avermelhado em toda a planta. Além disso, o excesso de Zn, pode causar sintomas semelhantes à deficiência de Fe.

## 2.14 Níquel (Ni)

Os solos geralmente apresentam baixo teor de Ni, porém solos originados de rochas básicas e ultrabásicas podem conter altos teores desse elemento, podendo atingir níveis tóxicos às plantas.

A disponibilidade do Ni para as plantas é regulada, em grande parte, pelas reações de adsorção entre o elemento e a superfície dos colóides (minerais de argila e matéria orgânica). O pH do solo é outro fator importante, sendo que em solos básicos a disponibilidade do elemento é reduzida.

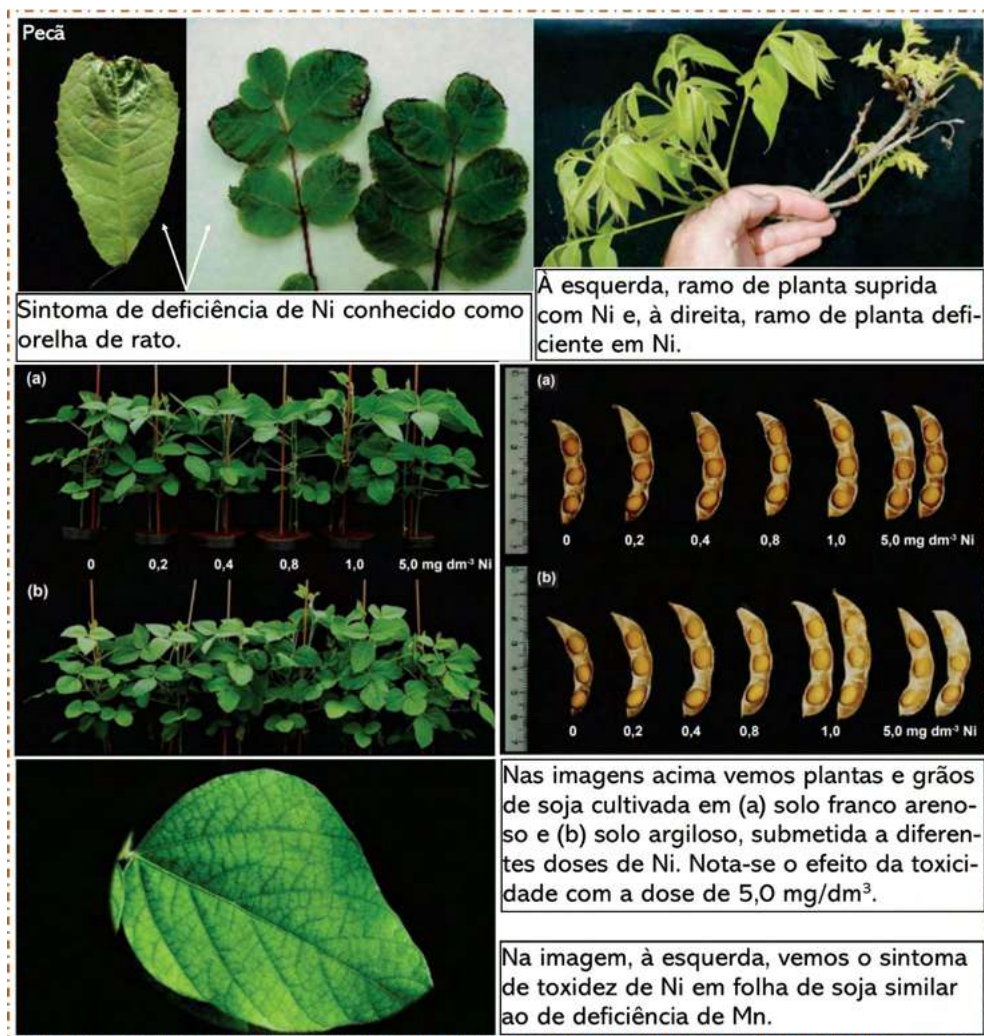
O mecanismo de contato do Ni com a raiz ainda não está totalmente elucidado. Após entrar em contato, é absorvido preferencialmente na forma de  $Ni^{2+}$  e minoritariamente na forma de quelatos com compostos orgânicos. Em seguida, cerca de 50% do Ni absorvido fica retido na raiz e o restante é transportado para a parte aérea via xilema. O Ni assimilado na parte aérea possui alta mobilidade no floema, sendo constantemente redistribuído para as partes jovens da planta e acumulado nas sementes.

As principais funções do Ni nas plantas estão relacionadas ao metabolismo do N. O Ni faz parte da enzima urease que desdobra a ureia em amônio e  $CO_2$ . Assim, é essencial para plantas supridas com ureia e para aquelas plantas que transportam ou redistribuem o N na forma de ureídeos, por exemplo, as leguminosas. Os ureídeos também são importantes para o processo de germinação das sementes. O Ni compõe outra enzima importante, a hidrogenase, que aumenta a eficiência energética do processo de fixação biológica de N e protege a enzima nitrogenase da presença de  $O_2$ .

Os sintomas de deficiência de Ni não são frequentes nas plantas, pois geralmente o Ni disponível no solo e nas sementes é suficiente para o desenvolvimento normal das plantas. Porém, quando detectados são caracterizados por clorose foliar pálida e uniforme (similar aos sintomas de deficiência de S e de Fe); redução do tamanho das folhas; embotoamento das folhas ou folíolos (conhecido como orelha de rato); coloração verde-escura nas pontas foliares; e necrose, curvatura e enrugamento da região apical das folhas.

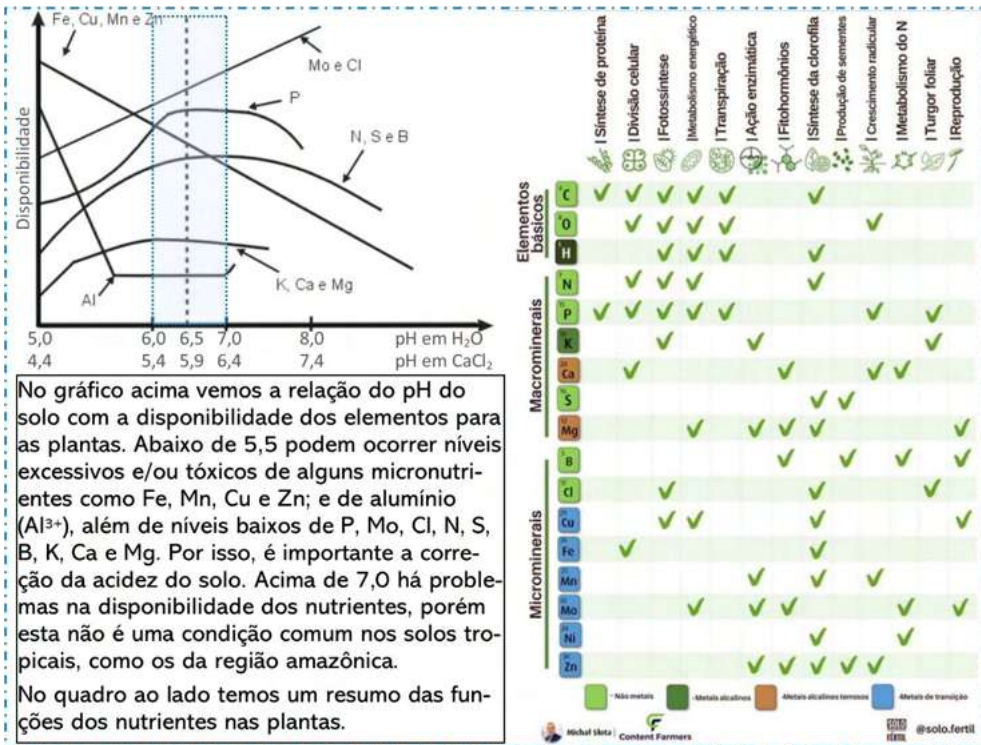
O Ni é o elemento essencial que mais frequentemente causa efeitos tóxicos nas plantas. O limite entre a dose adequada e o nível tóxico desse elemento é muito estreito. Por isso, é difícil incluir o Ni em um programa de adubação. Os sintomas de toxidez se

apresentam como clorose (devido à deficiência de Mn ou Fe), crescimento reduzido de toda a planta e, em casos severos, deformação de algumas partes da planta com manchas. Veja os exemplos de deficiência e toxidez de Ni.



Reis et al. (2014)

**Importante:** é válido relembrar a relação do pH do solo com a disponibilidade dos nutrientes e fazer um resumo das funções dos elementos nas plantas. Para isso, observe a figura a seguir!



Moreira et al. (2008) @solo.fertil

### 3. DIAGNÓSTICO DA FERTILIDADE DO SOLO

O primeiro passo para realizar a correção do solo e adubação é conhecer a fertilidade atual do solo e em seguida se faz a recomendação de acordo com a produtividade esperada para a cultura a ser implantada. Para o diagnóstico da fertilidade é necessário realizar a amostragem do solo da área, a análise laboratorial do solo e a interpretação dos resultados da análise.

#### 3.1 Amostragem e coleta de solos

A amostragem do solo é a base para o uso sustentável do solo, através da correta recomendação de corretivos e fertilizantes. A etapa de fertilização do solo é responsável por parte considerável da produtividade e do custo de produção das culturas de interesse. Com a amostragem correta do solo, é realizada a análise laboratorial, chamada de análise de solo, e a interpretação da fertilidade atual.

A amostragem do solo é a etapa mais crítica de todo o processo, pois de um modo geral, devido a condições meteorológicas, não pode ser repetida, e os erros cometidos na

amostragem não podem ser corrigidos nas etapas posteriores. Então vamos estudar os cuidados necessários para essa prática.

### *Divisão da área de amostragem*

A área onde será realizada a coleta de amostras deve ser dividida em glebas (talhões) de no máximo 10 ha. Cada gleba deve ser o mais homogênea possível, com relação à vegetação, topografia, tipo de solo, histórico de uso, produtividade e aplicações de corretivos e fertilizantes. As áreas que diferem na paisagem, por exemplo, em declividade, drenagem, cor e/ou tipo de solo, uso e tratamentos anteriores, devem ser amostradas separadamente. Veja o exemplo na figura abaixo!



### *Época de amostragem*

É recomendado realizar a amostragem e a análise do solo anualmente, para se corrigir possíveis deficiências de nutrientes e ainda excessiva acidez ou concentração de alumínio ( $Al^{3+}$ ), que é tóxico para a maioria das plantas cultivadas.

Os resultados da análise de solos podem variar em função da época de amostragem. Assim, não é indicado realizar a coleta em períodos em que o solo esteja muito seco ou encharcado. Solos com excesso de água são difíceis de coletar e misturar as amostras; portanto, é melhor esperar a drenagem dos solos antes da amostragem. Por outro lado, solos muito secos apresentam maior dureza, o que dificulta a retirada das amostras.

Respeitando-se esses limites, não há uma restrição quanto a época de amostragem, podendo ser realizada em qualquer momento após a colheita ou antes do plantio, evitando-se amostrar imediatamente depois das operações de correção do solo e adubação, pois assim as amostras não representarão os atributos reais do solo e a fertilidade atual será superestimada.

A coleta deve ser realizada com período mínimo de quatro meses antes do plantio, pois a correção da acidez do solo, se necessária, deve ser realizada com período de 90 dias de antecedência à adubação e ao plantio.

### *Ferramentas e demais materiais*

Existem inúmeras formas e equipamentos que podem ser utilizados na coleta de solo. Dentre os equipamentos mais tradicionais temos: enxadão, pá reta, sonda e trados (holandês, calador, caneca e rosca). Também existem ferramentas automatizadas que facilitam o processo.



👉 Carneiro et al. (2018)    👉 Martins et al. (2020)

Em qualquer caso é sempre necessário que as amostras retiradas sejam uniformes em volume, espessura e profundidade, pois em caso de amostras desuniformes pode ocorrer a sub ou superestimação dos atributos do solo dentro de um mesmo talhão e, conseqüentemente, da correção do solo e da adubação. No caso de usar o enxadão ou a pá reta, deve-se ter muito cuidado para coletar uma amostra de espessura homogênea. Os trados facilitam essa operação.



👉 Machado et al. (2019)

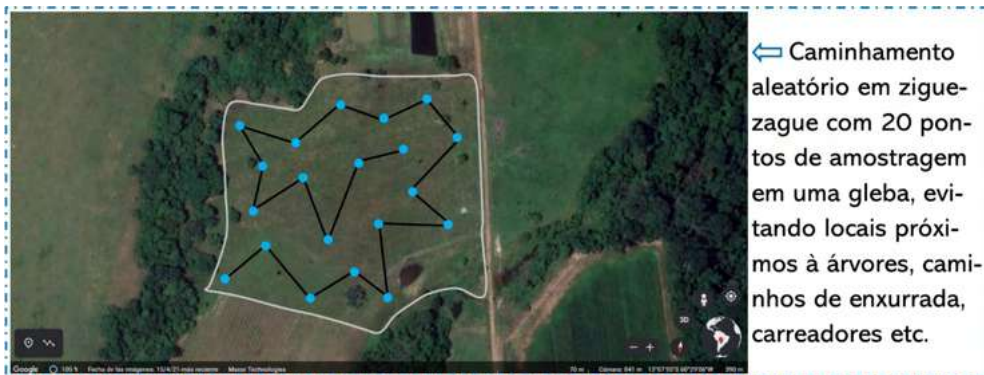
Além das ferramentas, são necessários outros materiais, como faca ou canivete; recipientes plásticos (balde ou bandeja); sacos plásticos ou caixas de papelão; etiqueta; lápis; etc. É importante que todo o material utilizado na amostragem esteja livre de sujeira, ferrugem e contaminantes. Não se deve aproveitar recipientes de agrotóxicos, adubos e outros insumos.

Dependendo da complexidade da área a ser amostrada pode ser necessário levar mapas ou croquis da área para o campo, bem como, outros acessórios como um aparelho GPS (*Global Positioning System* - Sistema de Posicionamento Global).

### *Localização e retirada das amostras*

Para cada gleba deve-se retirar uma amostra composta, que irá representar toda a área. Assim, recomenda-se retirar de 10 a 20 subamostras (amostras simples) para perfazer uma amostra composta, mesmo que esta represente uma área pequena, de apenas 10 m<sup>2</sup>, por exemplo. As subamostras devem ser retiradas em caminhamento aleatório em zig-zague.

Não se deve retirar subamostras próximas à residência, depósito de adubo e corretivos, curral, cocho, cerca, brejos, voçorocas, curva de nível, árvores, sulco de erosão, formigueiro, cupinzeiro, esterco, carreador, linha de trator, ou qualquer outra mancha não representativa da área. Para manter a qualidade da amostragem é essencial retirar folhas, gravetos e demais restos culturais da superfície, tomando cuidado para não remover a camada superficial do solo.



A coleta das subamostras pode ser feita em uma ou mais profundidades em um mesmo ponto, a depender do objetivo da amostragem. Para culturas anuais, é comum a retirada de amostras em pelo menos duas profundidades (0-20 cm e 20-40 cm), para culturas perenes a profundidade recomendada é maior, devendo atingir pelo menos 80 cm (ex.: 0-20 cm; 20-40 cm; 40-60 cm; e 60-80 cm). No sistema de plantio direto pode ser necessária maior estratificação da profundidade de amostragem, devido à deposição superficial de corretivos e adubos, por exemplo, 0-10 cm; 10-20 cm; e 20-40 cm.

É necessário ter recipientes plásticos (baldes ou bandejas) devidamente identificados para a acomodação das amostras simples de cada profundidade. Portanto, se estamos trabalhando com três profundidades, temos que ter três recipientes. Cada subamostra, após coletada, deve ser acondicionada no recipiente, destorroada e homogeneizada. A seguinte subamostra deve ser misturada intensamente com as anteriores para garantir uma amostra composta representativa de toda a gleba. Entre a retirada de uma subamostra, deve-se limpar as ferramentas e utensílios utilizados. Após a coleta e homogeneização de todas as subamostras, retira-se uma amostra composta de aproximadamente 500 g.


Antes do envio para o laboratório deve-se deixar as amostras compostas secarem à sombra, com o recipiente (saco plástico, por exemplo) aberto, para evitar alterações nos atributos do solo e diminuir o peso da amostra e, conseqüentemente, os gastos com o envio.

### *Identificação e envio das amostras*

Após a coleta e preparo das amostras compostas, essas devem ser embaladas com sacos plásticos ou caixas de papelão (geralmente fornecidas pelos laboratórios) para evitar contaminação, identificadas corretamente e enviadas ao laboratório escolhido.

É extremamente importante que os formulários fornecidos pelo laboratório sejam devidamente preenchidos, pois auxiliam o técnico responsável pela análise a identificar

possíveis erros nos procedimentos analíticos. É adequado ter uma planilha para o controle dos códigos enviados nas amostras com as suas respectivas glebas. Abaixo vemos um exemplo de amostra composta e etiqueta.

Amostra composta	Exemplo de etiqueta
	Nome do solicitante: _____
	Nome da propriedade: _____
	Município: _____ Estado: _____
	Nº da amostra: _____ Data da coleta: _____
	Tamanho da gleba: _____ Nº de subamostras: _____
	Profundidade amostrada: _____ cm
	Cultura existente: _____
	Cultura a ser implantada: _____
	A área recebeu calagem: ( ) não ( ) sim - quando? _____
	A área recebeu adubação: ( ) não ( ) sim - quando? _____
Preparo do solo: ( ) convencional ( ) plantio direto ( ) cultivo mínimo	
Tipo de paisagem: ( ) plana ( ) topo de morro ( ) encosta ( ) baixada	

### 3.2 Métodos de análise de solo

A análise do solo é o principal meio para a diagnose da necessidade de corretivos e de fertilizantes para as áreas agrícolas. Existem diferentes métodos para cada tipo de análise. No Brasil a Embrapa possui manual [Teixeira et al. \(2017\)](#) que orienta os procedimentos analíticos e um programa voluntário de controle de qualidade dos resultados. Aqui, vamos usar o manual da Embrapa como referência.

São determinados os teores disponíveis dos nutrientes no solo e não seu conteúdo total. Para isso são feitos testes com diferentes extratores (soluções que extraem os elementos do solo) e os resultados são comparados com as quantidades absorvidas pelas plantas, sendo recomendados os métodos que têm correlação positiva com o padrão de absorção das plantas. Outros atributos do solo são importantes no diagnóstico da fertilidade, como o teor de acidez ativa e potencial, o conteúdo de matéria orgânica e a granulometria (tratada na Unidade III).

Os resultados das análises de solo devem ser expressos de acordo com o Sistema Internacional de Unidades (SI). As unidades de representação devem ter como base o litro (L) para os líquidos e o quilograma (kg) ou o decímetro cúbico (dm<sup>3</sup>) para substâncias sólidas, e estas dependem se a amostra é aferida em termos de massa ou de volume. Os elementos trocáveis no solo, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, (H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup>), soma de bases (S) e a capacidade de troca de cátions e ânions (CTC e CTA) são representados em cargas por unidade de massa ou por unidade de volume, cmol<sub>c</sub>/kg ou cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup>, respectivamente.



Quando se afere a massa da amostra em balança analítica os resultados são expressos em quilograma (kg), quando se usa um cachimbo dosador e afere-se o volume da amostras os resultados são expressos em  $\text{dm}^3$ . Por isso é comum encontrar as duas formas em diferentes laudos. Exemplo:  $\text{cmolc/kg}$  ou  $\text{cmolc/dm}^3$ . Essas unidades podem ser convertidas uma na outra usando-se dados da densidade do solo ( $\text{kg/dm}^3$ ).

### *Recepção e preparo da amostra*

O primeiro passo quando a amostra chega ao laboratório é a recepção e o protocolo. Para cada amostra retira-se as informações que estão anotadas na etiqueta e faz-se o protocolo. Cada laboratório tem o seu próprio código para o controle, e esse controle pode ser realizado no computador, caderno etc.

As amostras são colocadas em bandejas para secar. A secagem pode ser realizada de duas formas: 1) ao ar, quando a amostra é seca nas condições ambientais (ar natural) em local protegido da chuva e ventos; ou 2) em estufa, quando leva-se a amostra para dentro de uma estufa a  $40\text{ }^\circ\text{C}$  com ventilação forçada. A secagem da amostra é importante para não ocorrer algumas reações químicas que ainda podem estar acontecendo pela presença de água e para ter uma umidade padronizada entre as amostras.

Após a secagem, prepara-se a terra fina, desfazendo-se os agregados da amostra e tamisando-a (peneirando-a) em malha de 2 mm. Assim, obtém-se a terra fina seca ao ar (TFSA) ou terra fina seca em estufa (TFSE), a depender da forma de secagem empregada. Em seguida realizam-se os procedimentos analíticos.



### Acidez ativa

A acidez ativa (íons hidrogênicos que estão na solução do solo) pode ser determinada por três procedimentos: pH em água, pH em  $\text{CaCl}_2$  e pH em KCl. Acondiciona-se 10 g de solo (TFSA) em recipiente adequado e depois adiciona-se 25 mL de água destilada ou de solução salina ( $\text{KCl}$  1 mol/L ou  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol/L). Agita-se a mistura por cerca de 60 s e deixa-se em repouso 1 h.

Após o repouso, cada amostra é agitada ligeiramente e a leitura do pH é realizado mergulhando o eletrodo do medidor digital de pH, devidamente calibrado. A leitura é realizada de forma direta e já dá o resultado do pH da amostra.



### Acidez potencial

Para determinar a acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) emprega-se 75 mL de uma solução extratora de acetato de cálcio (0,5 mol/L a pH 7,0) em uma amostra de 5 g de solo (TFSA). Após agitação e repouso, através de um processo de titulação, na presença de um indicador (fenolftaleína) determina-se o teor de  $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$  no sobrenadante. O titulante utilizado é uma

solução padronizada de 0,025 mol/L de NaOH.



👉 preparaenem

### *Fósforo disponível e potássio e sódio trocáveis*

A determinação de P disponível e de K e Na trocáveis pode ser realizada a partir de um mesmo extrato. A extração é realizada em 10 g de solo (TFSA) com 100 mL de solução extratora Mehlich-1 ( $\text{HCl}$  0,05 mol/L e  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,0125 mol/L). Após agitação e decantação retira-se, sem filtrar, 25 mL do extrato, passando para um recipiente plástico.

Para a determinação do P disponível pipeta-se 5 mL desse extrato, adiciona-se 10 mL de solução ácida de molibdato de amônio diluída e aproximadamente 30 mg de ácido ascórbico em pó, como redutor. Agita-se a mistura de 1 a 2 minutos e deixa-se desenvolver a cor durante 1 h. A leitura é feita por colorimetria em um espectrofotômetro. O restante do extrato (aproximadamente 20 mL) é usado diretamente para determinação de  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ , que é feita por fotometria de chama.

Processo de extração



Extratos coletados para as leituras de K e Na



Extratos preparados para a leitura de P



← Equipamentos para leitura. À esquerda, espectrofotômetro (leitura de P) e , à direita, fotômetro de chama (leitura de K e Na).



### *Cálcio, magnésio e alumínio trocáveis*

Os cátions trocáveis  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Al}^{3+}$  podem ser determinados a partir da mesma extração, que é realizada em 10 g de solo (TFSA) com 100 mL de solução de KCl 1 mol/L. Essa mistura é agitada durante 5 minutos em agitador horizontal circular. Após, deixa-se o material em repouso durante uma noite para decantar.

Separa-se, então, três alíquotas de 25 mL da parte sobrenadante da solução extratora, para determinação do alumínio extraível ( $\text{Al}^{3+}$ ), cálcio e magnésio trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ). A leitura dos três elementos é realizada em espectrofotômetro de absorção atômica, utilizando lâmpadas apropriadas para cada elemento.

Processo de extração



Espectrofotômetro de absorção atômica



### *Micronutrientes*

Os micronutrientes comumente determinados na análise de solos são o Fe, Mn, Zn e Cu. Porém, é possível solicitar também a análise dos demais. Geralmente o Cl e o Ni não são determinados, pois não é comum ocorrer deficiência desses elementos. O Cl é fornecido na adubação potássica, na forma de cloreto de potássio (KCl) e o Ni presente no solo e nas sementes das plantas costuma ser suficiente para não limitar a produtividade das culturas.

O Fe, Mn, Zn e Cu são determinados a partir da mesma extração, pelo método Mehlich modificado. A extração é feita em 5 g de solo (TFSA) com 25 mL de solução extratora Mehlich-1 (HCl 0,05 mol/L e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol/L). Essa mistura é agitada durante 5 min em agitador horizontal ou orbital e filtrada imediatamente. No filtrado, determinam-se os micronutrientes por espectrometria de absorção atômica de chama, utilizando lâmpadas apropriadas para cada elemento.

### *Matéria orgânica*

A matéria orgânica é calculada a partir da determinação do carbono orgânico do solo. O método mais usual é o da oxidação via úmida, com o emprego de solução dicromato de potássio e aquecimento externo. Esse método quantifica apenas o carbono proveniente de materiais orgânicos facilmente oxidáveis ou decomponíveis, pois o dicromato de potássio não ataca os compostos carbonáticos ou recalcitrantes, como o carvão.

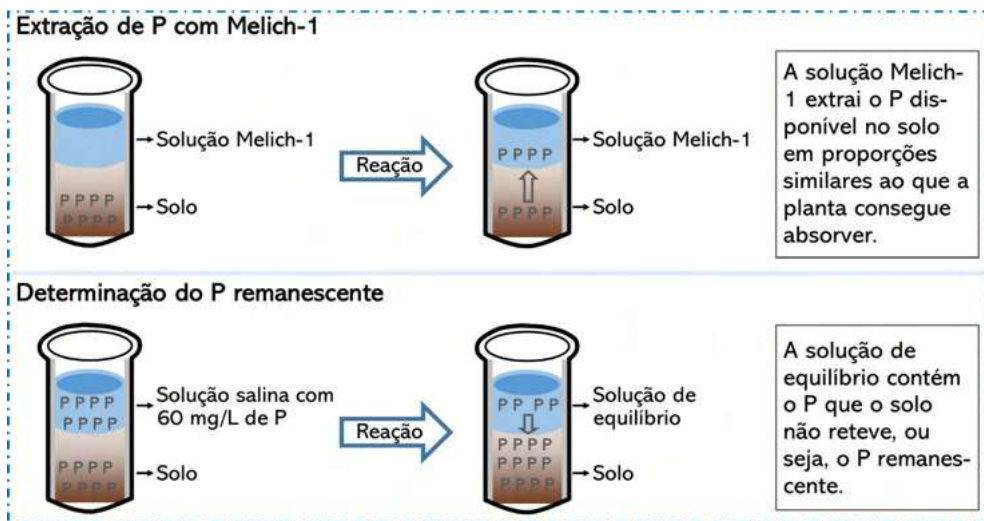
Em média, a matéria orgânica do solo possui 58% de carbono orgânico. Assim, multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724 determina-se o conteúdo de matéria orgânica do solo.

### *Fósforo remanescente*

Como veremos mais adiante, a interpretação do teor de P disponível no solo depende de fatores relacionados à capacidade de fixação de fosfato. Essa medida pode ser feita de forma indireta, pelo teor de argila do solo (pois infere-se que quanto maior o teor de argila, maior a capacidade de retenção de P no solo), ou de forma direta, pela análise de P remanescente.

Essa análise difere da extração de P com a solução Mehlich-1, pois aqui o que se faz é adicionar a uma amostra de solo (TFSA) uma solução com quantidade conhecida de P (60 mg/L, por exemplo) para reagir com o solo. Após a reação, mede-se, por colorimetria, a quantidade de P que sobrou na solução de equilíbrio, ou seja, o P remanescente.

Quanto maior for o teor de P remanescente, menor é a capacidade de fixação de fosfato no solo. Isso quer dizer que o P adicionado na adubação ficará mais disponível para as plantas.



### Resultados calculados

A partir dos resultados pelos métodos analíticos tratados acima podem ser determinados outros atributos do solo, como soma de bases, capacidade de troca de cátions potencial (CTC ou T), saturação por bases (V), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC<sub>ef</sub>), saturação por alumínio (m) e atividade de argila (t). Nós aprendemos a fazer esses cálculos na Unidade III, se tiver dúvida, reveja!

**Importante:** após finalizada toda a analítica, o laboratório envia ao solicitante um laudo com os resultados. Os laudos diferem de um laboratório para outro e é importante informar quais foram os métodos analíticos empregados, pois isso interfere na interpretação dos resultados.

### 3.3 Interpretação e recomendação de corretivos e fertilizantes

A seguir vemos um exemplo de resultados de uma análise de solo.

Código	pH		MO	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	P-rem
	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>	g/kg	mg/kg			cmol <sub>c</sub> /kg				mg/L
001	5,8	4,8	16	1	30	3,0	2,0	0,3	0,0	3,6	33,0
002	5,5	4,2	16	1	49	2,0	0,3	0,2	0,5	4,0	24,5

Código	Fe	Mn	Zn	Cu		S	CTC <sub>potencial</sub>	V	CTC <sub>efetiva</sub>	m	t
	mg/kg					cmol <sub>c</sub> /kg		%	cmol <sub>c</sub> /kg	%	cmol <sub>c</sub> /kg
001	101	110,3	7,3	2,8		2,4	6,0	40	2,4	0	16,5
002	143	112,5	5,6	2,1		0,6	4,6	14	1,1	45	12,3

Código	Areia		Silte		Argila	
	g/kg					
001	542		95		363	
002	523		102		375	

001 – amostra gleba 1, na profundidade de 0-20 cm;

002 – amostra gleba 1, na profundidade de 20-40 cm.

Para interpretar esses resultados temos que utilizar um manual de referência. Esses manuais são regionalizados e elaborados de acordo com o contexto edafoclimático e agrônomico para cada região. Para Rondônia não temos um manual específico, somente algumas recomendações pontuais para cada cultura. Os manuais mais próximos, são da região do Cerrado [↗](#) “Cerrado: correção do solo e adubação” de Souza e Lobato (2004) e do estado do Acre “Manejo de solo e recomendação de adubação para o Estado do Acre” de Wadt (2005). No caso da interpretação da necessidade de calagem também é útil a seguinte publicação: “Manejo de solos ácidos do estado do Acre” de Wadt (2002).

No seguinte arquivo ([↗](#) link) você encontra um exemplo completo de recomendação de calagem, gessagem e adubação para um sistema de soja e milho safrinha usando os resultados da análise anterior. A seguir vamos discutir as particularidades de cada etapa de correção e adubação.

#### 4 . CORREÇÃO DO SOLO E ADUBAÇÃO

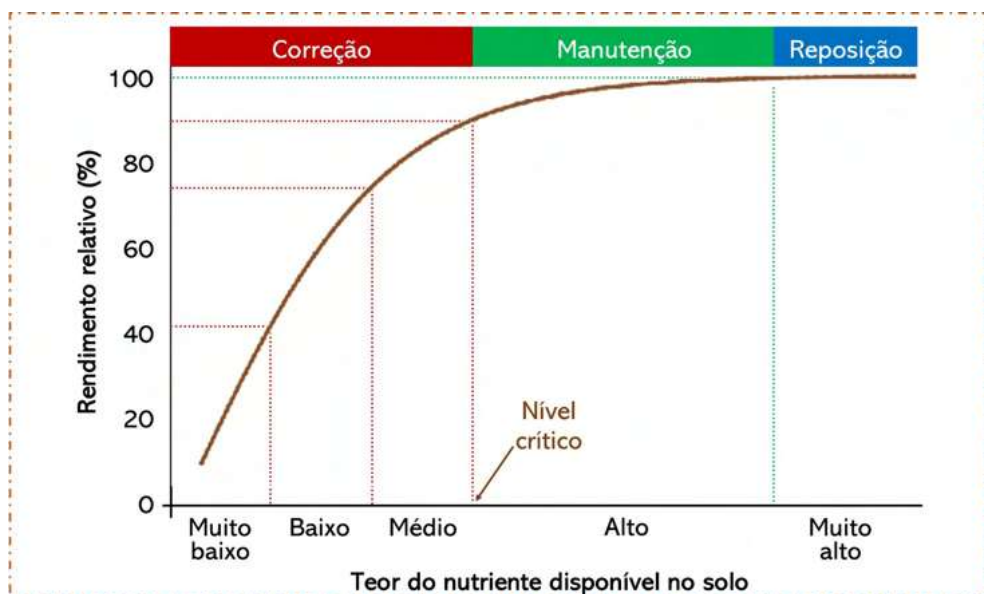
Um programa de correção do solo e adubação é diferente para cada cultura (anual, semiperene ou perene), sistema de manejo do solo, nível tecnológico da propriedade e expectativa de rendimento da cultura. Aqui vamos tratar de um programa geral que pode

ser adaptado a depender do contexto da propriedade.

A correção do solo no estado de Rondônia e na região amazônica em geral se refere à correção da acidez, mas existem outros tipos de correção, como de alcalinidade e sodicidade, que podem ocorrer em situações pontuais.

A correção da acidez é a primeira etapa de um programa de fertilização do solo, pois como já estudamos a acidez afeta diretamente a disponibilidade dos elementos e o desenvolvimento das plantas. Essa etapa se divide em correção da acidez superficial (camada arável – 0 a 20 cm), realizada pela prática da calagem, e correção da acidez subsuperficial (camadas mais profundas, abaixo de 20 cm), feita através da gessagem.

A adubação se divide em corretiva, de manutenção e de reposição. Essa divisão tem correlação com o rendimento relativo das culturas, como vemos a seguir.



O nível crítico de um nutriente no solo corresponde a 90% do rendimento da cultura. Portanto, abaixo disso (nível muito baixo, baixo e médio) devemos realizar a adubação corretiva do elemento, que visa elevar a fertilidade do solo acima do nível crítico. Essa etapa, normalmente, exige quantidades elevadas de adubo e onera o custo de produção, porém é necessária.

Acima dos 90% do rendimento relativo da cultura, no nível alto de disponibilidade do nutriente, realizamos a adubação de manutenção, que consiste na reposição dos nutrientes exportados pelos produtos (grãos, massa seca, carne etc.) mais uma quantidade equivalente

às eventuais perdas do sistema. Os nutrientes podem estar acima do nível crítico devido à elevada fertilidade natural do solo ou porque realizamos a adubação corretiva.

Quando o solo se encontra no nível muito alto de algum nutriente, fazemos a adubação de reposição, que é baseada apenas na taxa de exportação dos nutrientes da área pelos produtos colhidos (grãos, massa seca, carne etc.).

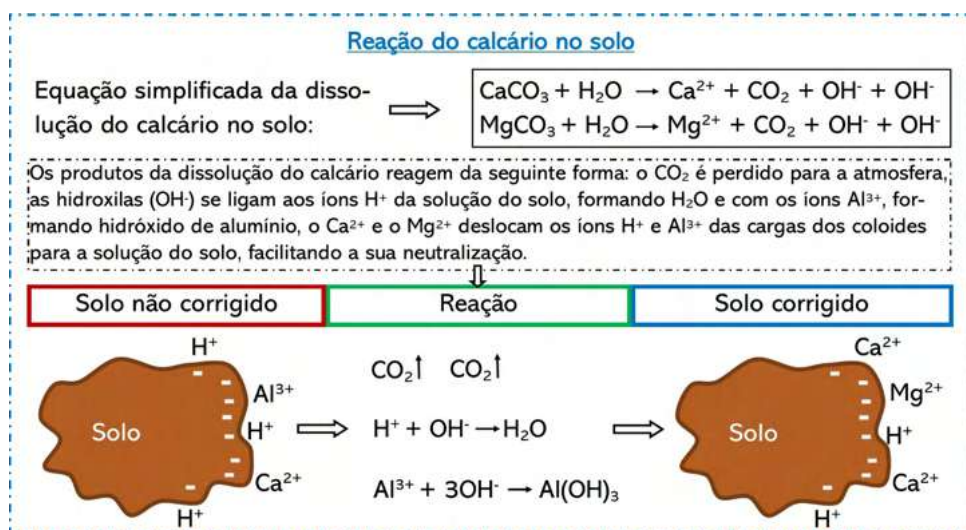
Realizando a correção da acidez e o fornecimento dos nutrientes com base no nível de disponibilidade no solo e a exigência da cultura, teremos bons rendimentos sem perder a fertilidade do solo.

#### 4.1 Correção da acidez superficial

A prática adotada na correção de acidez na camada de 0 a 20 cm do solo é a calagem, que consiste na aplicação de calcário no solo. O calcário agrícola é obtido a partir da moagem da rocha calcária e, portanto, é composto de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e carbonato de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ).

Se realizada de forma correta, a calagem eleva o pH para a faixa desejada, neutraliza o alumínio tóxico ( $\text{Al}^{3+}$ ) e fornece cálcio e magnésio ( $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ ) como nutrientes. Como efeitos secundários, a calagem aumenta a disponibilidade de fósforo e de outros nutrientes no solo, favorece a atividade microbiana e aumenta a capacidade de troca de cátions efetiva. Deve-se salientar que, com o aumento do pH, pode ocorrer redução na disponibilidade de micronutrientes como Fe, Mn, Zn e Cu, assim atenção especial deve ser dada ao fornecimento desses elementos em solos corrigidos.

A seguir vemos a reação do calcário no solo e a neutralização da acidez.



## Determinação da necessidade de calagem

A quantidade de calcário a ser utilizada em determinada área depende do tipo de solo e do sistema de produção a ser desenvolvido. Para que o calcário produza os efeitos desejáveis, é necessário haver umidade no solo e tempo suficiente para sua reação.

Existem vários métodos de recomendação da necessidade de calagem, os principais são pH SMP; neutralização do Al e fornecimento de Ca e Mg; e saturação por bases. Aqui vamos utilizar o método da saturação por bases. Esse método baseia-se na diferença entre a saturação por bases exigida pela cultura a ser implantada (V2) e a saturação por bases atual do solo (V1), em relação à CTC potencial do solo, conforme a seguinte expressão:

$$NC \text{ (t/ha)} = CTC \text{ (V2-V1)} / PRNT$$

No nosso exemplo de análise de solos já temos os dados de CTC e V1 no laudo, porém se fosse o caso de não constar esses resultados poderíamos calculá-los pelas seguintes expressões, como vimos na Unidade III:

$$SB = Ca + Mg + K + Na$$

$$CTC_{\text{pH } 7,0} = H + Al + SB$$

$$V1 \text{ (\%)} = SB \times 100 / CTC$$

Devemos buscar o V2 no manual de recomendação que estamos utilizando. Para facilitar temos a seguir o V2 para as principais culturas agrícolas para a região do Cerrado.

Cultura	Saturação por bases recomendada (V2)	
	Sistema de sequeiro	Sistema irrigado
Algodão	50%	-
Amendoim	50%	60%
Arroz	50%	60%
Aveia	50%	60%
Cana-de-açúcar	50%	-
Cevada	50%	60%
Feijão	50%	60%
Girassol	50%	60%
Leguminosas (adubos verdes)	50%	60%
Mamona	50%	60%

Cultura	Saturação por bases recomendada (V2)	
	Sistema de sequeiro	Sistema irrigado
Milheto	50%	60%
Milho	50%	60%
Soja	50%	60%
Sorgo	50%	60%
Trigo	50%	60%
Abacate	50%	-
Abacaxi	35%	-
Acerola	50%	-
Banana	50%	-
Café	50%	-
Citros	50%	-
Eucalipto	25%	-
Goiaba	50%	-
Graviola	50%	-
Mamão	50%	-
Manga	50%	-
Maracujá	50%	-
Pupunha	50%	-
Seringueira	50%	-

👉 Souza e Lobato (2004)

A recomendação para as pastagens é feita de acordo com a exigência em fertilidade da espécie cultivada, como vemos nos exemplos a seguir:

- Espécies pouco exigentes em fertilidade (*Brachiaria decumbens*, *B. humidicula*, *B. ruziziensis*): V2 = 30 a 35%;
- Espécies exigentes em fertilidade (*Panicum maximum* cv. Vencedor e cv. Centenário): V2 = 40 a 45%; e
- Espécies muito exigentes em fertilidade (*Cynodon* spp. e *Pennisetum purpureum*): V2 = 50 a 65%.

**Importante:** adaptações no V2 de cada cultura podem ser realizadas de acordo com resultados observados no campo. Por exemplo, os produtores de soja do Cone Sul de Rondônia frequentemente usam o V2 de 60% para a cultura da soja, mesmo que não seja cultivada em sistema irrigado.

Para calcular a necessidade de calagem, nos falta apenas a informação sobre o

PRNT. Essa é uma característica do calcário adquirido. A sigla significa Poder Real de Neutralização Total e se refere à quantidade do produto que irá reagir no solo no período de 90 dias. Essa informação deve ser fornecida pela empresa que comercializa o calcário e pode ser verificada pelo consumidor, enviando uma amostra do produto para um laboratório para realizar a análise.

### *Forma e época de aplicação do calcário*

Após estimar a quantidade de calcário necessária é preciso planejar a aplicação do produto. Quando a área nunca foi corrigida é imprescindível fazer a incorporação do calcário, pois o carbonato de cálcio é pouco móvel no solo e se for aplicado em superfície não corrigirá toda a camada de 0-20 cm. A incorporação deve ser feita com no mínimo 90 dias antes da adubação e plantio para dar tempo para o produto reagir no solo e causar os efeitos desejados.

Em sistemas onde não há o revolvimento do solo, como no plantio direto ou no caso de culturas perenes consolidadas, a aplicação é feita superficialmente, porém a camada de solo amostrada não pode ser de 20 cm, devendo-se amostrar a camada de 0-10 cm, ou até mesmo, de 0-5 cm, para realizar a recomendação de calagem. Porém, antes da implantação desses sistemas deve-se realizar a incorporação do calcário pelo menos uma vez.

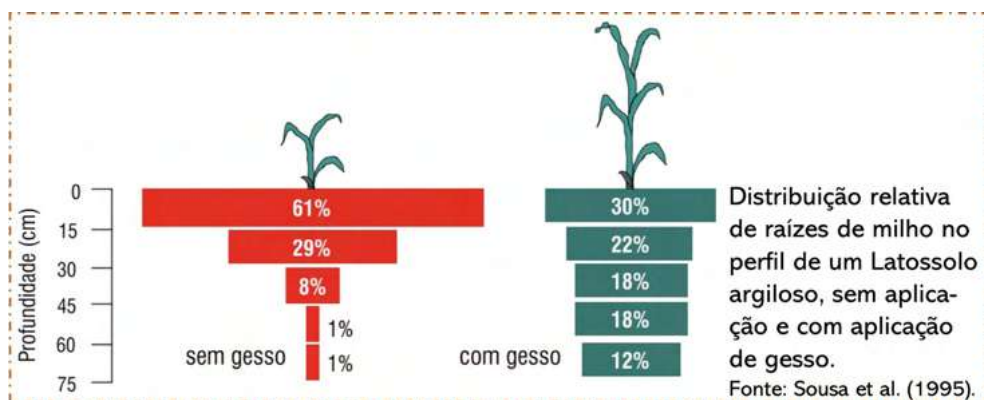
A calagem é realizada, em média, a cada quatro anos, mas pode ser necessária em um período maior ou menor, a depender do manejo empregado na área. Em sistemas com colheitas muito produtivas e uso intensivo de adubos, principalmente os nitrogenados, a calagem é mais frequente. Essa necessidade deve ser analisada por meio da análise de solos anualmente.

## **4.2 Correção da acidez subsuperficial**

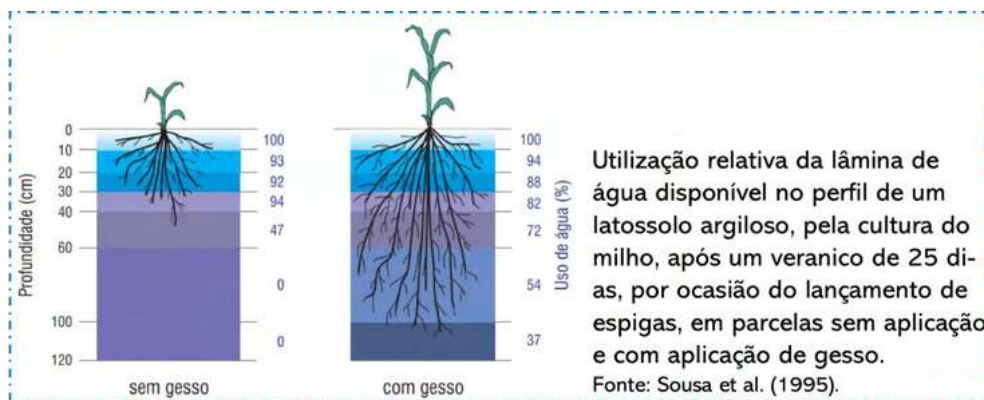
Mesmo que se tenha efetuado a calagem adequada, nas camadas mais profundas do solo, abaixo de 20 cm, pode haver o excesso de Al tóxico ( $Al^{3+}$ ), associado ou não à deficiência de Ca. Quando isso ocorre, as raízes da maioria das espécies cultivadas desenvolvem-se apenas na camada superficial. Em regiões onde há períodos de seca (no caso de culturas perenes) ou de veranicos (no caso de culturas anuais), ou mesmo em solos com baixa capacidade de retenção de água, o sistema radicular concentrado na superfície diminui a produção das plantas devido ao estresse hídrico e à absorção reduzida de nutrientes.

Para melhorar a condição química do solo em profundidade, é necessário aplicar

um corretivo mais móvel do que o calcário. A principal alternativa é o gesso agrícola que é um sulfato de cálcio ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), que apesar de não alterar o pH do solo, após a sua dissolução, movimenta-se para as camadas inferiores acompanhado por cátions, especialmente o Ca. Assim, o gesso corrige o Al tóxico, aumenta a distribuição do Ca no perfil e fornece S para as plantas. Nas figuras a seguir observamos o melhor desenvolvimento radicular com a aplicação de gesso.



↗ Souza e Lobato (2004)



↗ Souza e Lobato (2004)

### *Determinação da necessidade de gessagem*

Para verificar se existe a necessidade de aplicação de gesso, a amostragem de solo deve ser realizada também na subsuperfície, pelo menos na camada de 20 a 40 cm, porém o ideal é que também se amostre a camada de 40 cm a 60 cm para culturas anuais e até

80 cm para culturas perenes.

Após a análise do solo, observamos o valor de saturação por alumínio (m) e do teor de Ca nas amostras subsuperficiais. Se o valor m for maior que 20% ou o teor de Ca for menor que 0,5 cmol<sub>c</sub>/kg devemos realizar a gessagem. Caso o valor m não esteja presente no laudo da análise podemos calculá-lo a partir das seguintes equações, como vimos na Unidade III:

$$\text{CTC efetiva (cmol}_c\text{/kg ou cmol}_c\text{/dm}^3\text{)} = \text{Al}^{3+} + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+$$

$$m (\%) = \text{Al}^{3+} \times 100 / \text{CTC efetiva}$$

Quando se faz necessária a gessagem, a quantidade de gesso a ser utilizada é determinada por uma das seguintes equações:

- Culturas anuais

$$\text{NG (kg/ha)} = 50 \times \text{teor de argila (\%)}$$

- Culturas perenes

$$\text{NG (kg/ha)} = 75 \times \text{teor de argila (\%)}$$

**Importante:** em Rondônia não é comum que os produtores realizem a prática da gessagem, devido ao alto custo com o transporte do gesso agrícola. Na ausência, da gessagem, o S deve ser introduzido no solo em alguma etapa da adubação, para que as plantas não sofram deficiência desse elemento.

### *Época e forma de aplicação do gesso agrícola*

O gesso agrícola, devido a sua maior solubilidade não precisa ser aplicado com muita antecedência ao plantio, sendo recomendado um intervalo mínimo de 15 dias entre a gessagem e a implantação da cultura. Porém, nada impede que ele seja aplicado com maior

antecedência. Portanto, a programação vai depender das operações na área, podendo ser aplicado depois da calagem ou imediatamente antes se esta for necessária.

A aplicação deve ser feita a lanço em área total e caso haja dificuldade em incorporar o gesso ao solo, pode-se deixá-lo na superfície, pois ao se dissolver na água ele infiltrará no solo, passando pela camada arável e ficando retido nas camadas subsuperficiais até os 60 cm ou 80 cm.

### 4.3 Adubação corretiva

A adubação corretiva, geralmente, é feita apenas para os macronutrientes P e K, mas também pode ser realizada para os micronutrientes, porém vamos tratar deles em uma seção separada. Não se faz adubação corretiva para Ca, Mg e S porque esses elementos são adicionados durante a etapa da correção (calagem e gessagem). O N não é adicionado nessa etapa por ser um elemento muito dinâmico no sistema, com inúmeras vias de perda.

O objetivo dessa etapa da adubação é elevar o teor dos elementos do solo acima do nível crítico, que corresponde a 90% do rendimento relativo das culturas. Essa é uma etapa dispendiosa e muitas vezes o produtor opta por não a realizar, porém, nesses casos, a adubação de manutenção disponibilizará menos nutrientes para as culturas e o resultado em produtividade será comprometido.

Temos que considerar que esse é um investimento inicial que tem efeito residual, pois uma vez superado o nível crítico do elemento no solo, se realizarmos adequadamente a adubação de manutenção, a fertilidade do solo será mantida e não necessitaremos realizar novamente a adubação corretiva.

#### *Fósforo (P)*

Como a adubação fosfatada corretiva (fosfatagem) só é necessária em áreas que o teor de P no solo está abaixo do nível crítico, o primeiro passo é interpretar a disponibilidade de P no solo. Temos então que ter em mãos os resultados da análise de solo da área e o manual de recomendação. Essa interpretação depende do método analítico empregado. Para a região amazônica, é comum obter o teor de P disponível pelo método Mehlich 1 e a capacidade de fixação de fosfato é relacionada ao teor de argila ou ao teor de P remanescente.

Por qualquer método de interpretação, se o teor de P estiver nas faixas muito baixo, baixo ou médio se faz necessária a adubação corretiva. Em geral a disponibilidade de P nos solos da região amazônica é baixa, porém há exceções como o caso das Terras Pretas de Índio, que são solos escuros com elevado teor de P, acima de 30 mg/kg, mas que pode

ultrapassar os 1.000 mg/kg.

A seguir vemos as tabelas de interpretação da disponibilidade de P para culturas anuais em sistemas de sequeiro e irrigado de acordo com o teor de argila.

Interpretação da análise de solo para P extraído pelo Método Mehlich 1, de acordo com o teor de argila, para recomendação de adubação fosfatada em sistemas de sequeiro com culturas anuais

Teor de argila (%)	Teor de P no solo (mg/dm <sup>3</sup> )				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
≤ 15	0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	> 25,0
16-35	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	> 20,0
36-60	0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
> 60	0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0

👉 Souza e Lobato (2004)

Interpretação da análise de solo para P extraído pelo Método Mehlich 1, de acordo com o teor de argila, para recomendação de adubação fosfatada em sistemas irrigados com culturas anuais

Teor de argila (%)	Teor de P no solo (mg/dm <sup>3</sup> )				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
≤15	0 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	25,1 a 40,0	> 40,0
16-35	0 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	20,1 a 35,0	> 35,0
36-60	0 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	12,1 a 18,0	> 18,0
> 60	0 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	6,1 a 9,0	> 9,0

👉 Souza e Lobato (2004)

A seguir vemos as tabelas de interpretação da disponibilidade de P para culturas

anuais em sistemas de sequeiro e irrigado de acordo com o teor de P remanescente.

Interpretação da análise de solo para P extraído pelo Método Mehlich 1, de acordo com o P remanescente, para recomendação de adubação fosfatada em sistemas de sequeiro com culturas anuais

P-rem (mg/dm <sup>3</sup> )	Teor de P no solo (mg/dm <sup>3</sup> )				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
≤10	0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0
11-30	0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
31-45	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	> 20,0
45-60	0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	> 25,0

↖ Souza e Lobato (2004)

Interpretação da análise de solo para P extraído pelo Método Mehlich 1, de acordo com o P remanescente, para recomendação de adubação fosfatada em sistemas irrigados com culturas anuais

P-rem (mg/dm <sup>3</sup> )	Teor de P no solo (mg/dm <sup>3</sup> )				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
≤ 10	0 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	6,1 a 9,0	> 9,0
11-30	0 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	12,1 a 18,0	> 18,0
31-45	0 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	20,1 a 35,0	> 35,0
45-60	0 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	25,1 a 40,0	> 40,0

↖ Souza e Lobato (2004)

A quantidade de P a ser aplicada é descrita em P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (kg/ha) e é identificada a partir de valores tabelados, como vemos a seguir.

Recomendação de adubação fosfatada corretiva de acordo com a disponibilidade de fósforo e com o teor de argila do solo, em sistemas agrícolas com culturas anuais em sistemas de sequeiro e irrigados

Teor de argila	Sistemas de sequeiro			Sistemas irrigados		
	Fósforo no solo <sup>1</sup>			Fósforo no solo <sup>1</sup>		
	Muito baixo	Baixo	Médio	Muito baixo	Baixo	Médio
(%)	kg/ha de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>					
≤ 15	60	30	15	90	45	20
16-35	100	50	25	150	75	40
36-60	200	100	50	300	150	75
> 60	280	140	70	420	210	105

↖ Souza e Lobato (2004)

Recomendação de adubação fosfatada corretiva de acordo com a disponibilidade de fósforo, calculada com o teor de P remanescente do solo, em sistemas agrícolas com culturas anuais em sistemas de sequeiro e irrigados

Sistema agrícola	Disponibilidade de P no solo		
	Muito baixa	Baixa	Média
	kg/ha de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
Sequeiro	260 – (4 x P-rem)	130 – (2 x P-rem)	65 – (1 x P-rem)
Irrigado	390 – (6 x P-rem)	195 – (3 x P-rem)	98 – (1,5 x P-rem)

↖ Souza e Lobato (2004)

A quantidade de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> necessária deve ser convertida para uma forma de adubo e pode ser aplicada de duas formas: adubação corretiva total ou gradual. Sempre que possível, deve-se preferir a adubação corretiva total, realizando a distribuição do adubo a lanço em toda a área com posterior incorporação. Essa prática deve ser realizada aproximadamente 15 dias antes da semeadura ou plantio.

Em alguns casos pode-se optar pela adubação corretiva gradual, que consiste em

aplicar no sulco de semeadura, uma quantidade de P superior à indicada para a adubação de manutenção, até atingir, após alguns anos, a disponibilidade de P desejada. Em outras palavras, a adubação corretiva gradual consiste em aplicar a quantidade de P recomendada de forma parcelada.

A adubação corretiva gradual é uma boa opção quando a quantidade de  $P_2O_5$  recomendada é menor que 100 kg/ha ou quando as doses de  $P_2O_5$  forem muito altas e não houver capital disponível para a realização da adubação corretiva total, o que é comum em solos intemperizados com alto teor de argila.

Não existe uma regra para o parcelamento da adubação corretiva, mas pode ser realizada equitativamente em cinco anos, ou seja, para uma adubação corretiva total de 200 kg/ha de  $P_2O_5$  pode-se aplicar 40 kg/ha anualmente durante 5 anos. Lembrando que o objetivo é elevar a disponibilidade de P para a faixa adequada, portanto, o resultado deve ser monitorado com análises de solos anuais, e esse objetivo pode ser alcançado antes ou depois do previsto.

### *Potássio (K)*

O teor de potássio trocável ( $K^+$ ) é a principal forma disponível do elemento às plantas, e nos solos do Cerrado e da Amazônia geralmente seu teor está abaixo do nível crítico, fazendo-se necessária a adubação corretiva potássica (potassagem). Essa interpretação é realizada de acordo com o teor de K extraível em Mehlich 1 e com a CTC potencial do solo, portanto, precisamos dos resultados da análise de solo da área e do manual de recomendação.

A adubação corretiva potássica pode ser feita de forma total, que consiste em aplicar doses de K para superar o nível crítico, seguida de aplicações anuais para repor a extração de K pelas culturas e as perdas do sistema, ou gradual, que é feita pela aplicação anual de doses de potássio pouco acima da necessidade das culturas, para corrigir a deficiência gradualmente.

No caso do K não é analisado apenas o valor de capital disponível para o investimento inicial, mas também indicadores técnicos, pois este elemento é mais móvel no solo do que o P, podendo ser perdido por lixiviação. Em solos com baixa CTC, como solos arenosos, os resultados de pesquisa indicam que a adubação corretiva gradual feita a lanço em área total é mais eficiente do que a adubação corretiva total também feita a lanço em área total, ou do que a adubação gradual realizada de forma localizada no sulco de semeadura, devido às menores perdas por lixiviação.

Outro fator a ser analisado é a dose de K descrita em  $K_2O$  (kg/ha), pois quando a

necessidade de adubação supera os 60 kg/ha de  $K_2O$  há grande risco de efeito salino se a aplicação for feita de forma localizada no sulco de semeadura. Isso porque a principal fonte de K usada no Brasil é o cloreto de potássio (KCl), que possui elevado índice salino.

O efeito salino do KCl afeta principalmente a germinação das sementes e o desenvolvimento inicial das plantas, conhecido como “queima”. Em condições de solo seco (estresse hídrico) esse efeito se agrava. Assim, quando a necessidade de adubação potássica corretiva é igual ou superior a 60 kg/ha de  $K_2O$ , recomenda-se a aplicação a lanço em área total ou a aplicação de forma parcelada no sulco de semeadura.

No quadro a seguir vemos a interpretação do nível de K no solo de acordo com a CTC potencial, seguida da recomendação das quantidades de  $K_2O$  (kg/ha) necessárias tanto para a adubação corretiva total, quanto gradual.

Interpretação da análise de solo e recomendação de adubação corretiva de K para culturas anuais conforme a disponibilidade do nutriente em solos de Cerrado

Teor de K mg/kg	Interpretação	Corretiva total	Corretiva gradual
		kg de $K_2O$ /ha	
<b>CTC a pH 7,0 menor que 4,0 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup></b>			
≤15	Baixo	50	70
16 a 30	Médio	25	60
31 a 40	Adequado	0	0
>40	Alto	0	0
<b>CTC a pH 7,0 igual ou maior que 4,0 cmol<sub>c</sub>/dm<sup>3</sup></b>			
≤ 25	Baixo	100	80
26 a 50	Médio	50	60
51 a 80	Adequado	0	0
> 80	Alto	0	0

↙ Souza e Lobato (2004)

### *Adubação corretiva em culturas perenes*

A adubação corretiva para culturas perenes é frequentemente chamada de adubação de formação e pode ser feita da mesma forma que para culturas anuais. Nesse caso, o ideal é realizá-la a lanço em área total seguida de incorporação, na camada mais

profunda possível. Temos que lembrar que no caso de culturas perenes temos poucas oportunidades de revolver o solo e, portanto, é essencial realizar a adubação corretiva antes da implantação da cultura.

Como as culturas perenes costumam demorar mais tempo para obter retorno econômico, são feitas adaptações na etapa de adubação corretiva, para tornar o investimento inicial menor. No caso de realizar a adubação corretiva em área total, realizar o consórcio com culturas anuais nos primeiros anos de cultivo pode ser uma alternativa para diminuir o custo inicial de implantação do sistema. Além disso, pode-se efetuar a adubação corretiva somente na faixa de plantio da cultura perene e cultivar culturas anuais nas entrelinhas apenas com a adubação de manutenção.

**Importante:** no caso de culturas que têm fase de viveiro deve ser feita a adubação do substrato utilizado para a produção das mudas. Além disso, é comum utilizar sistemas de fertirrigação.

No caso das pastagens a etapa de adubação corretiva é chamada de adubação de estabelecimento e considera além do teor do elemento no solo, o nível de exigência da forrageira, conforme os quadros a seguir.

Grau de exigência de gramíneas forrageiras às condições de fertilidade de solo

Espécie	Grau de exigência em fertilidade
<i>Andropogon gayanus</i>	Pouco exigente
<i>Urochloa decumbens</i> , <i>B. humidicola</i> e <i>B. ruziziensis</i>	Pouco exigente
<i>Paspalum atratum</i> cv. <i>Pojuca</i>	Pouco exigente
<i>Urochloa brizantha</i> cv. <i>Marandu</i>	Exigente
<i>Panicum maximum</i>	Exigente a muito exigente, a depender da cultivar
<i>Pennisetum purpureum</i>	Muito exigente
<i>Cynodon</i> spp.	Muito exigente

☞ Souza e Lobato (2004)

Grau de exigência de leguminosas forrageiras às condições de fertilidade de solo

Espécie	Grau de exigência em fertilidade
<i>Stylosanthes guianensis</i> , <i>S. capitata</i> , <i>S. macrocephala</i>	Pouco exigente
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Pouco exigente
<i>Pueraria phaseoloides</i>	Pouco exigente
<i>Arachis pintoi</i>	Exigente
<i>Leucaena leucocephala</i>	Muito exigente
<i>Neonotonia wightii</i>	Muito exigente

☞ Souza e Lobato (2004)

Interpretação dos resultados da análise de fósforo no solo na profundidade de 0 a 20 cm, extraído pelo método Mehlich 1, para três grupos de exigência das forrageiras

Teor de argila (%)	Teor de P no solo (mg/dm <sup>3</sup> )			
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado
<b>Espécies pouco exigentes</b>				
≤ 15	0 a 3,0	3,1 a 6,0	6,1 a 9,0	> 9,0
16-35	0 a 2,5	2,6 a 5,0	5,1 a 7,0	> 7,0
36-60	0 a 1,5	1,6 a 3,0	3,1 a 4,5	> 4,5
> 60	0 a 0,5	0,6 a 1,5	1,6 a 3,0	> 3,0
<b>Espécies exigentes</b>				
≤ 15	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	> 15,0
16-35	0 a 4,0	4,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
36-60	0 a 2,0	2,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0
> 60	0 a 1,0	1,1 a 2,5	2,6 a 4,0	> 4,0
<b>Espécies muito exigentes</b>				
≤ 15	0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 21,0	> 21,0
16-35	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 18,0	> 18,0
36-60	0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 10,0	> 10,0
> 60	0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 5,0	> 5,0

☞ Souza e Lobato (2004)

Recomendação de adubação fosfatada para o estabelecimento de pastagens em decorrência da análise do solo e da exigência das espécies forrageiras

Teor de argila (%)	Teor de P no solo (mg/dm <sup>3</sup> )			
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado
<b>kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a aplicar</b>				
<b>Espécies pouco exigentes</b>				
≤ 15	40	30	20	0
16-35	60	45	30	0
36-60	90	70	45	0
> 60	120	90	60	0
<b>Espécies exigentes</b>				
≤ 15	70	55	35	0
16-35	90	70	45	0
36-60	140	105	70	0
> 60	180	135	90	0
<b>Espécies muito exigentes</b>				
≤ 15	80	50	40	0
16-35	120	75	60	0
36-60	180	120	90	0
> 60	240	150	120	0

Recomendação de adubação potássica para pastagens consorciada e solteira em decorrência da análise de solo

Teor de K no solo (mg/dm <sup>3</sup> )	Doses de potássio (kg/ha de K <sub>2</sub> O)	
	Pastagem consorciada <sup>1</sup>	Pastagem solteira <sup>1</sup>
< 25	60	40
25 a 50	40	20
> 50	20	0

<sup>1</sup> Gramínea e leguminosa. <sup>2</sup> gramínea pura.

↗ Souza e Lobato (2004)

A principal fonte de K tanto para culturas anuais, quanto perenes é o cloreto de

potássio (KCl). Porém, para o P temos mais fontes no mercado que variam, principalmente, em solubilidade. Portanto, no caso de culturas perenes podemos usar fontes solúveis (superfosfato triplo, superfosfato simples, fosfato monoamônico - MAP, fosfato diamônico - DAP etc.) combinadas com fontes de baixa solubilidade (fosfatos naturais e fosfatos naturais reativos) a fim de reduzir a reação de fixação de fosfato e elevar a disponibilidade do P ao longo do tempo.

#### 4.4 Adubação de manutenção

A adubação de manutenção é realizada após a adubação corretiva, ou quando o solo, apresenta teor de P e K naturalmente nos níveis adequado e alto. Além do P e K, nessa etapa adiciona-se N e, em alguns casos, S e micronutrientes (vamos tratar deles em uma seção separada). É dividida em adubação de plantio ou sementeira e de cobertura e planejada de acordo com as exigências nutricionais e rendimento esperado de cada cultura.

Qualquer nutriente pode ser aplicado em cobertura, tanto via solo, quanto foliar, porém, geralmente o P é adicionado apenas no plantio, devido a sua baixa mobilidade no solo. São frequentes os resultados positivos de parcelamento da adubação nitrogenada e potássica devido às suas várias vias de perda no sistema e ao elevado efeito salino desses fertilizantes.

**Importante:** quando é feito o processo de inoculação de bactérias diazotróficas não se deve aplicar nenhuma fonte de N na sementeira. No caso de culturas nas quais o processo de fixação biológica de N não é suficiente para fornecer todo o N exigido pelas plantas, o fornecimento de N via adubação deve ser feito em cobertura.

A adubação de sementeira geralmente é feita de forma localizada no sulco de sementeira, porém em alguns casos pode ser realizada a lanço em área total pré-plantio. Essa estratégia é mais adotada para a adubação potássica, seja para evitar efeitos de salinidade, seja para otimizar o uso de maquinários na área.

No caso da adubação localizada, devemos tomar o cuidado de colocar os adubos ao lado e abaixo (de 3 a 5 cm) das sementes para evitar danos. A aplicação localizada dos adubos é feita, majoritariamente, com implementos do tipo semeadora-adubadora, que realizam a sementeira e adubação em uma única operação. Porém, existem produtores que optam por adquirir implementos do tipo semeadora apenas, para acelerar o plantio. Nesses casos, é feita uma operação pré-plantio para realizar a adubação no sulco de

semeadura. Para qualquer que seja a estratégia adotada, os implementos devem ser bem regulados para evitar erros nas quantidades e posição de deposição de adubos e sementes e, conseqüentemente, perdas produtivas e econômicas.

A seguir temos exemplos de recomendação para algumas culturas, para as demais, deve-se consultar os manuais de recomendação.

### Feijão

Recomendação de adubação de semeadura com N, P e K

Expectativa de rendimento	N	P		K	
		Adequado	Alto	Adequado	Alto
t/ha	kg/ha	kg/ha de $P_2O_5$		kg/ha de $K_2O$	
3	20	60	30	60	40
4	20	80	40	80	50
5	20	120	60	100	70

↗ Souza e Lobato (2004)

Caso a expectativa de rendimento seja inferior a 3 t/ha, devemos utilizar as doses de P e K recomendadas para a adubação corretiva. Nas doses superiores a 60 kg/ha de  $K_2O$  (principalmente em solos com CTC menor que 4  $cmol_c/dm^3$ ) devemos fazer a adubação a lanço em pré-semeadura, ou parcelar a adubação, aplicando a metade na semeadura e o restante, em cobertura (30 dias após a germinação). Se for realizada inoculação rizobiana no feijoeiro, não devemos realizar adubação nitrogenada de semeadura.

Recomendação de adubação de cobertura com N

Expectativa de rendimento	N
t/ha	kg/ha
3	40
4	60
5	80

↗ Souza e Lobato (2004)

Em solos com alto potencial de lixiviação, como é o caso de solo com teor de argila menor que 15%, podemos parcelar a adubação nitrogenada de cobertura em duas vezes (50% aos 10 dias após emergência e 50% no início da abertura dos botões florais). Nos demais solos, a adubação pode ser feita em uma única parcela no início da abertura dos botões florais, cerca de 30 dias após emergência.

## Soja

### Recomendação de adubação de semeadura com P e K

Expectativa de rendimento	P		K	
	Adequado	Alto	Adequado	Alto
t/ha	kg/ha de $P_2O_5$		kg/ha de $K_2O$	
3	60	30	60	40
4	80	40	80	50
5	100	50	100	70

↗ Souza e Lobato (2004)

Para a cultura da soja o fornecimento de N é realizado pelo processo de fixação biológica, devendo-se, portanto, realizar a inoculação das sementes. Caso a expectativa de rendimento seja inferior a 3 t/ha, devemos utilizar as doses de P e K recomendadas para a adubação corretiva. Nas doses superiores a 60 kg/ha de  $K_2O$  (principalmente em solos com CTC menor que  $4 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ ) devemos fazer a adubação a lanço em pré-semeadura, ou parcelar a adubação, aplicando a metade na semeadura e o restante, em cobertura (30 dias após a germinação).

## Milho

### Recomendação de adubação de semeadura com N, P e K

Expectativa de rendimento	N	P		K	
		Adequado	Alto	Adequado	Alto
t/ha	kg/ha	kg/ha de $P_2O_5$		kg/ha de $K_2O$	
6	20	60	30	60	30
8	30	80	40	60	40
10	30	100	50	60	50
12	30	120	60	60	60

↗ Souza e Lobato (2004)

Caso a expectativa de rendimento seja inferior a 6 t/ha, devemos utilizar as doses de P e K recomendadas para a adubação corretiva.

## Recomendação de adubação de cobertura com N e K

Expectativa de rendimento	N	K <sub>2</sub> O
t/ha	kg/ha	
6	40	0
8	70	30
10	130	60
12	180	90

👉 Souza e Lobato (2004)

Em solos com teor de argila maior que 15%, doses de N de até 100 kg/ha, podem ser aplicadas em uma única parcela quando a planta estiver com 7 a 8 folhas abertas. Para doses maiores que 10 kg/ha de N, devemos parcelar a adubação de cobertura em duas vezes, sendo 50% quando as plantas tiverem de 4 a 6 folhas e 50% de 8 a 10 folhas.

Em solos cujo teor de argila é menor que 15%, devemos parcelar a dose de N inferior a 100 kg/ha, em duas vezes (50% com 4 a 6 folhas e 50% com 8 a 10 folhas) e as doses superiores a 100 kg/ha em três vezes (40% com 4 a 6 folhas; 40% com 8 a 10 folhas; e 20% com 10 a 12 folhas).

A adubação de cobertura com K é recomendada apenas se o nível de K extraível for considerado adequado.

## Sorgo

### Recomendação de adubação de semeadura com N, P e K

Expectativa de rendimento	N	P		K	
		Adequado	Alto	Adequado	Alto
t/ha	kg/ha	kg/ha de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		kg/ha de K <sub>2</sub> O	
4	20	60	30	60	40
5	20	70	35	80	50
6	20	80	40	100	70

👉 Souza e Lobato (2004)

Caso a expectativa de rendimento seja inferior a 4 t/ha, devemos utilizar as doses de P e K recomendadas para a adubação corretiva.

## Recomendação de adubação de cobertura com N

Expectativa de rendimento	N
t/ha	kg/ha
4	30
5	70
6	110

👉 Souza e Lobato (2004)

Em solos com teor de argila maior que 15%, devemos fazer a adubação de cobertura quando a planta estiver com 4 a 6 folhas e em solos com menor que 15% de argila, devemos parcelar a adubação em duas vezes, sendo 50% com 4 a 6 folhas e 50% com 8 a 10 folhas.

**Importante:** nos casos em que não foi feita a gessagem, devemos aplicar 20 kg/ha de S a cada cultivo, preferencialmente na adubação da semeadura.

### 4.5 Adubação de reposição

As quantidades de nutrientes a serem adicionadas via adubação podem ser estabelecidas pela quantidade destes nutrientes retirados pelos grãos ou pela massa seca. A opção de adubar pela reposição (exportação) é indicada somente quando os teores de nutrientes no solo estão na faixa “muito alto”.

Nesse caso, recomenda-se não aplicar fertilizante no 1º cultivo (dose zero) e aplicar valores menores ou iguais à manutenção no 2º cultivo. Ao optar por essa alternativa (não aplicar fertilizante no 1º cultivo), deve-se analisar o custo da adubação em relação aos demais fatores de produção. Mesmo com teores de P e de K “Muito alto” no solo, algumas culturas beneficiam-se com uma pequena quantidade de fertilizante na semeadura.

Na região do Cerrado e da Amazônia esse tipo de adubação não é muito indicado devido às elevadas taxas de temperatura e de chuvas, que levam a várias vias de perda de nutrientes, como lixiviação, erosão, volatilização etc. Como vimos nas tabelas anteriores, mesmo no nível alto de P e K recomenda-se a adubação de manutenção. Porém, a Fundação MS tem recomendado uma adaptação da adubação de reposição para as culturas cultivadas na safrinha, principalmente o milho (2ª safra), que pode ser adotada em Rondônia.

O cultivo do milho na safrinha em Rondônia, geralmente, sucede à cultura da soja

e possui diversas vantagens, como melhor aproveitamento da área de produção, quebra de ciclo de pragas e o aproveitamento da adubação residual da cultura principal. Entre as desvantagens, podemos citar a maior variabilidade na produção de um ano para outro, devido às variações climáticas. No ano de 2020 a produtividade foi de 5.732 kg/ha e em 2021 foi de 4.276 kg/ha (IBGE, 2022).

A adubação do milho safrinha (ou de outra cultura) pode ser dimensionada com base na exportação de nutrientes por tonelada de milho produzido. No quadro a seguir vemos as taxas de extração (aquilo que a planta absorve) e de exportação (aquilo que é retirado da área pela colheita) do milho.

Extração e exportação de nutrientes pela cultura do milho, em função da produtividade esperada.

Nutriente	Expectativa de produtividade (sacas/ha)							
	100		120		140		160	
	Extração	Exportação	Extração	Exportação	Extração	Exportação	Extração	Exportação
kg/ha								
N	149	95,0	179	114,0	209	133,0	239	152,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	59	52,0	71	63,0	82	73,0	94	84,0
K <sub>2</sub> O	131	35,0	157	42,0	183	49,0	209	56,0
Ca	23	3,0	28	3,6	33	4,2	37	4,8
Mg	26	9,0	32	10,8	37	12,6	42	14,4
S	15	6,6	19	7,9	22	9,2	25	10,6
g/ha								
Fe	1414,0	70,0	1697,0	84,0	1980,0	97,4	2263,0	111,0
Mn	257,0	37,0	308,0	44,0	360,0	51,2	411,0	58,6
Cu	60,0	7,2	72,0	8,6	84,0	10,1	96,0	11,5
Zn	290,0	166,0	348,0	199,0	407,0	23,0	465,0	265,0
B	108,0	19,2	130,0	23,0	151,0	27,0	173,0	30,7
Mo	6,0	3,6	7,2	4,3	8,4	5,0	9,6	5,8

👉 Broch e Ranno (2012)

Notamos que os nutrientes mais extraídos da área são o N, P e K e dentre os micronutrientes o Zn tem uma extração importante. Considerando ainda que o Ca, Mg e S possuem elevado efeito residual quando são feitas a calagem e a gessagem, a adubação do milho safrinha geralmente é realizada apenas para N, P, K e Zn. Caso não tenha sido realizada a gessagem ou a adubação com S é necessário aplicar no mínimo 20 kg/ha de S.

Para o N a adubação é pautada no teor extraído pela cultura e não o exportado e

deve-se considerar ainda o efeito da cultura anterior. No caso da soja, calcula-se que a fixação biológica de N deixa um residual no solo de 35 a 45 kg/ha de N. O processo de mineralização libera em média 20 kg de N para cada 1% de matéria orgânica do solo. Logo, em um solo com 2% de matéria orgânica (20 g/kg), seriam liberados 40 kg/ha de N. Assim, levando-se em consideração as produtividades médias para a safrinha, as quais giram em torno de 80 sacas/ha, o milho extrairia 120 kg/ha de N. Portanto, a recomendação para um solo com 2% de matéria orgânica cultivado anteriormente com soja seria de 80 kg/ha de N.

O dimensionamento da adubação fosfatada depende do nível de disponibilidade de P no solo. Para solos com teor de P adequado ou alto, consideramos apenas o teor exportado pela colheita. Portanto, para uma produtividade esperada de 80 sacas/ha seria necessário aplicar 42 kg/ha de  $P_2O_5$ . Em solos com disponibilidade de P abaixo do nível adequado (muito baixo, baixo e médio), devemos considerar a quantidade extraída de  $P_2O_5$  pela cultura e a eficiência agrônômica da adubação em torno de 35 a 40%. Nessa situação e esperando o mesmo nível de produtividade a recomendação seria de 118 a 134 kg/ha de  $P_2O_5$ .

A adubação potássica é dimensionada de forma similar à adubação fosfatada. Para solos com teor de K adequado ou alto, consideramos apenas o teor exportado pela colheita. Em solos com disponibilidade de K abaixo do nível adequado (muito baixo, baixo e médio), devemos considerar a quantidade extraída de  $K_2O$  pela cultura, porém sem corrigir pela eficiência agrônômica da adubação. Portanto, para uma produtividade esperada de 80 sacas/ha seria necessário aplicar 105 kg/ha de  $K_2O$  em solos com teor de K disponível abaixo do adequado e 28 kg/ha de  $K_2O$  em solos com K disponível acima do adequado.

A quantidade de Zn a ser aplicada é dimensionada pelo teor exportado e diferentes estratégias de aplicação podem ser adotadas. A fonte de Zn pode ser adicionada ao dessecante da cultura anterior e assim aplicada em área total, pode-se usar adubos formulados de NPK contendo Zn, realizar a adubação via sementes ou ainda via foliar.

#### 4.6 Adubação com micronutrientes

A adubação com micronutrientes é essencial para elevar os rendimentos das culturas. Nos solos do Cerrado e da Amazônia, muitos micronutrientes são os principais fatores limitantes, devido à exportação sem a devida reposição. Podemos aplicar os micronutrientes em qualquer fase do programa de adubação, sendo uma boa estratégia usar adubos formulados contendo micronutrientes e aplicá-los no solo. Pois, como vimos no início desta Unidade, a maior parte dos micronutrientes é pouco móvel no floema das plantas e, portanto, a melhor forma de disponibilizá-los é no solo, pois assim, a planta conseguirá mobilizá-los via xilema até os pontos de crescimento durante todo o seu ciclo.

Existem três filosofias de adubação com micronutrientes: 1) filosofia de segurança, que não utiliza dados de análise de solo e/ou de tecido e são recomendados um ou mais micronutrientes levando em conta possíveis problemas de deficiência em uma região, tipo de solo ou cultura específica; 2) filosofia de prescrição, na qual análises de solos e/ou de tecidos de plantas, devidamente calibradas através de ensaios de campo, são utilizadas para avaliar a disponibilidade e definir doses de micronutrientes que proporcionem o máximo retorno econômico; e 3) filosofia de restituição, utilizada em áreas que têm atingido altos tetos de produtividade e intensificação de problemas de deficiência de micronutrientes, pelas altas taxas de exportação obtidas, determinadas por análise de tecido.

A filosofia de segurança não é a mais adequada, porém ainda é utilizada devido à falta de recomendações calibradas para os diversos contextos edafoclimáticos e agrônômicos do Brasil. É comum para a região do Cerrado e da Amazônia uma mistura entre a filosofia de segurança e a de prescrição, porém pode haver exceções em propriedades de nível tecnológico elevado, que realizam a análise de tecido e programam a adubação com micronutrientes com base na exportação (adubação de reposição).

No quadro a seguir vemos condições genéricas que podem levar à deficiência dos micronutrientes.

<b>Micronutriente</b>	<b>Condições que favorecem a deficiência</b>
Boro	Solos arenosos; alta pluviosidade; veranico e estação seca; baixos teores de matéria orgânica; pH fora da faixa de 5,0 a 7,0.
Cobre	Solos orgânicos; pH fora da faixa de 5,0 a 6,5; níveis elevados de outros íons metálicos, como Fe, Al e Mn; doses elevadas de N.
Ferro	Calagem excessiva; solos encharcados; excesso de outros metais, como Mo, Cu e Mn; altos níveis de P; pH fora da faixa de 4,0 a 6,0.
Manganês	Calagem excessiva; solos arenosos; solos orgânicos; excesso de Ca, Mg e K; níveis elevados de Fe, Cu e Zn; pH fora da faixa de 5,0 a 6,5.
Zinco	Calagem excessiva; altos níveis de P; solos arenosos; matéria orgânica elevada; pH fora da faixa de 5,0 a 6,5.
Molibdênio	pH abaixo de 5,5; solos arenosos; doses pesadas de sulfatos; níveis elevados de Cu.

Resende (2003)

Para a filosofia da prescrição precisamos do teor do micronutriente na análise de solo e da tabela de interpretação do manual de recomendação. Porém, para a região do Cerrado e da Amazônia a recomendação é ainda bastante limitada devido, aos poucos estudos de

calibração de métodos da análise do solo para esses nutrientes. A seguir vemos a primeira aproximação para a interpretação de resultados das análises dos solos da região do Cerrado.

#### Interpretação de resultados de análise de micronutrientes em solos de Cerrado

Teor	B	Cu	Mn	Zn
	mg/dm <sup>3</sup>			
Baixo	0 a 0,2	0 a 0,4	0 a 1,9	0 a 1,0
Médio	0,3 a 0,5	0,5 a 0,8	2,0 a 5,0	1,1 a 1,6
Alto	> 0,5	> 0,8	> 5,0	> 1,6

👉 Souza e Lobato (2004)

Observação: o B é determinado pelo método da água quente e os demais micronutrientes (Cu, Mn, Zn) são determinados pela extração com Mehlich 1.

A adubação corretiva é indicada quando o teor de micronutrientes disponíveis no solo é considerado baixo. Para culturas anuais recomenda-se a aplicação a lanço de: 2,0 kg/ha de boro; 2,0 kg/ha de cobre; 6,0 kg/ha de manganês; 0,4 kg/ha de molibdênio e 6,0 kg/ha de zinco. Essa adubação também pode ser realizada no caso de não haver dados de análise de solo, pela filosofia da segurança.

A adubação de manutenção varia para cada cultura e é realizada no plantio ou semeadura e, para algumas culturas, em cobertura. Deve-se consultar os manuais de recomendação para determinar as quantidades necessárias.

A adubação com micronutrientes para culturas anuais deve ser feita no solo. A aplicação foliar para as culturas anuais só é recomendada caso os micronutrientes não tenham sido aplicados no solo antes do plantio ou se a adubação feita no solo foi insuficiente para supri-los em quantidades adequadas e as plantas apresentarem sintomas de deficiência.

A adubação foliar representa um custo extra, principalmente para elementos pouco móveis no floema, como o B, podendo ser necessárias várias aplicações para suprir a necessidade ao longo do ciclo da cultura. Além disso, a adubação foliar corrige a deficiência no ano da aplicação, podendo haver problemas no ano seguinte. Para algumas culturas perenes, a pulverização foliar com micronutrientes junto aos pesticidas constitui prática rotineira.

O Co e o Mo em virtude das pequenas quantidades que são requeridas pelas plantas, quando for conveniente, podem ser aplicados nas sementes. Para culturas leguminosas, como soja e feijão, a adubação com esses micronutrientes é obrigatória para se obter bons resultados da fixação biológica de N. Alguns produtores preferem fazer o fornecimento de Co

e Mo via foliar, principalmente quando fazem o tratamento fitossanitário das sementes, pois o excesso de produtos pode causar efeitos deletérios e prejudicar a germinação das plântulas.

#### 4.7 Adubação orgânica

Vários materiais orgânicos podem ser utilizados como adubo. Esses materiais, além de serem fontes de nutrientes às plantas contribuem para o acúmulo de matéria orgânica, melhorando as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. No entanto, esses benefícios são obtidos a longo prazo e dependem do uso contínuo da adubação orgânica associado a práticas conservacionistas de manejo do solo.

O uso de adubos orgânicos na agricultura contribui para a reciclagem dos nutrientes e para a economia das reservas minerais e da energia empregada na produção e transporte dos fertilizantes industriais. Além disso, a adubação orgânica por ser considerada uma opção adequada para o descarte desses resíduos, desde que seja realizada sem extrapolar os limites críticos ambientais de concentração de nutrientes e demais limitações previstas em legislação.

Alguns pontos importantes devem ser analisados antes de realizar a adubação orgânica:

- Deve ser realizada de acordo com o teor de nutrientes contidos no adubo e a necessidade de adubação, de forma análoga à adubação mineral.
- Os adubos orgânicos geralmente contêm menor concentração de nutrientes do que os adubos minerais, o que leva a necessidade de doses elevadas de adubos orgânicos para suprir à quantidade de nutrientes demandada pelas culturas.
- Os adubos orgânicos necessitam ser mineralizados para disponibilizarem nutrientes às plantas. Assim, a taxa de mineralização da fração orgânica determina a eficiência agrônômica em comparação aos fertilizantes minerais.
- A taxa de mineralização dos adubos orgânicos é bastante variável, assim aqueles que são compostos mais lentamente liberam menor quantidade de nutrientes ao ano, porém diminuem as perdas de nutrientes e favorecem o acúmulo de matéria orgânica em relação aos de mineralização rápida, como os dejetos líquidos.
- Os adubos orgânicos crus devem ser aplicados com antecedência ao plantio para permitir sua degradação inicial, processo esse que acidifica o solo e libera compostos tóxicos que podem prejudicar a germinação das sementes e desenvolvimento das plantas.
- Devido a sua composição microbiológica, os adubos orgânicos não podem ter contato direto com as partes comestíveis das plantas, sobretudo daquelas utili-

zadas para consumo *in natura*.

- A adubação orgânica traz benefícios que vão além da nutrição das plantas e pode ser combinada com fertilizantes minerais para usufruir das vantagens de ambas as formas de adubação.

No *Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina da SBCS* (2016) encontramos bons critérios para dimensionar a adubação orgânica, baseados na concentração do nutriente do adubo orgânico e no índice de eficiência de cada nutriente.

A concentração do nutriente do adubo orgânico pode ser obtida a partir da análise do adubo, realizada por diversos laboratórios no Brasil. Esse índice dá maior confiabilidade à recomendação da adubação. Porém, na ausência desses resultados, podem ser adotados dados médios conforme o quadro a seguir.

Teores médios de carbono, nutrientes e matéria seca de alguns adubos orgânicos

Adubo	C org	N total <sup>2</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Mat. seca	
	% <sup>1</sup>							
Cama de frango (3 e 4 lotes) <sup>3</sup>	30	3,2	3,5	2,5	4,0	0,8	75	
Cama de frango (5 e 6 lotes)	28	3,5	3,8	3,0	4,2	0,9	75	
Cama de frango (7 e 8 lotes)	25	3,8	4,0	3,5	4,5	1,0	75	
Cama de peru (2 lotes)	23	5,0	4,0	4,0	3,7	0,8	75	
Cama de poedeira	30	1,6	4,9	1,9	14,4	0,9	72	
Cama sobreposta de suínos	18	1,5	2,6	1,8	3,6	0,8	40	
Composto de dejetos suínos	42	1,6	2,5	2,3	2,1	0,6	40	
Esterco sólido de suínos	20	2,1	2,8	2,9	2,8	0,8	25	
Esterco sólido de bovinos	30	1,5	1,4	1,5	0,8	0,5	20	
Vermicomposto	17	1,5	1,3	1,7	1,4	0,5	50	
Lodo de esgoto	30	3,2	3,7	0,5	3,2	1,2	5	
Composto de lixo urbano	12	1,2	0,6	0,4	2,1	0,2	70	
Cinza de casca de arroz	10	0,3	0,5	0,7	0,3	0,1	70	
	kg/m <sup>3</sup>							%
Dejeto líquido de suínos	9	2,8	2,4	1,5	2,0	0,8	3	
Dejeto líquido de bovinos	13	1,4	0,8	1,4	1,2	0,4	4	

<sup>1</sup> SBCS (2016)

<sup>1</sup> Concentração calculada com base em material seco em estufa a 65 °C; <sup>2</sup> a proporção do N total que se encontra na forma mineral (amoniacoal: N-NH<sub>3</sub> e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; nítrica: N-NO<sub>3</sub> e N-NO<sub>2</sub>) é, em média, de 25% na cama de frangos, 15% na cama de poedeiras, 30% no lodo de esgoto, 25% no esterco líquido de bovinos, 60% no dejeto líquido de suínos e 5% na cama sobreposta e no composto de dejeto de suínos. A proporção de N na forma mineral pode variar de acordo com o grau de maturação e tempo de armazenamento do adubo orgânico; e <sup>3</sup> indicação do número de lotes de animais que permanecem sobre a mesma cama.

Os adubos orgânicos sólidos e líquidos apresentam ampla variação nas suas taxas de mineralização e liberação dos nutrientes no solo. Em geral, os esterco sólidos e os adubos orgânicos com altos teores de fibras e lignina apresentam maior relação C/N e menores quantidades de nutrientes na forma mineral, sendo decompostos mais lentamente no solo e liberando menores quantidades de nutrientes para as plantas do que os dejetos líquidos.

Os índices de eficiência agrônômica indicam a proporção da quantidade total dos nutrientes contidos nos adubos orgânicos que será disponibilizada nos dois primeiros cultivos após a aplicação, considerando a produção de espécies anuais de grãos ou forrageiras ou ciclos de crescimento de espécies perenes. O uso desses adubos em espécies de ciclo muito curto (como algumas olerícolas) ou perenes (caso de espécies florestais ou frutíferas) pode requerer ajustes desses índices.

Para as olerícolas e outras espécies de ciclo muito curto, devemos considerar como prontamente disponível a fração mineral do N total presente nos adubos orgânicos, cuja proporção está indicada na segunda nota de rodapé do quadro anterior. Já para as espécies florestais, frutíferas e demais culturas perenes, devemos considerar o índice de eficiência obtido pela soma dos dois cultivos indicados no quadro a seguir, de acordo com o tipo de adubo orgânico a ser utilizado.

Valores médios de eficiência agrônômica dos nutrientes de diferentes adubos orgânicos aplicados no solo em dois cultivos sucessivos (culturas anuais de grãos ou ciclos de crescimento de forrageiras)

Adubo	Nutriente <sup>1</sup>	Índice de eficiência	
		1º cultivo	2º cultivo
Cama de frango	N	0,5	0,2
	P	0,8	0,2
	K	1,0	-
Esterco sólido de suínos	N	0,6	0,2
	P	0,8	0,2
	K	1,0	-
Esterco sólido de bovinos	N	0,3	0,2
	P	0,8	0,2
	K	1,0	-
Dejeto líquido de suínos	N	0,8	-
	P	0,9	0,1
	K	1,0	-
Dejeto líquido de bovinos	N	0,5	0,2
	P	0,8	0,2
	K	1,0	-

Cama sobreposta e composto de dejetos de suínos <sup>2</sup>	N	0,2	-
	P	0,7	0,3
	K	1,0	-
Outros resíduos orgânicos <sup>3</sup>	N	0,5	0,2
	P	0,8	0,2
	K	1,0	-
Lodo de esgoto e composto de lixo	N	0,2	-

 SBCS (2016)

<sup>1</sup> Nutrientes totais (mineral + orgânico); <sup>2</sup> considerando como substrato a maravalha e/ou a serragem; e <sup>3</sup> outros adubos orgânicos podem apresentar valores distintos conforme a concentração e forma dos nutrientes presentes no adubo.

Após determinar a necessidade de cada nutriente para cada etapa da adubação, através da interpretação da análise de solo e da necessidade da cultura, como vimos anteriormente, podemos utilizar a seguinte fórmula:

$$A = QD / [(B / 100) \times (C / 100) \times D]$$

onde: A = dose do adubo orgânico (kg/ha); QD = quantidade disponível do nutriente no adubo orgânico (kg/ha); B = teor de matéria seca do adubo orgânico (%); C = concentração do nutriente na matéria seca do adubo orgânico (%); e D = índice de eficiência agrônômica de cada nutriente.

O dimensionamento da adubação com adubos orgânicos líquidos é realizado pela seguinte equação:

$$A = QD / (C \times D)$$

onde: A = dose do adubo orgânico (m<sup>3</sup>/ha); QD = quantidade disponível do nutriente no adubo orgânico (kg/ha); C = concentração do nutriente do adubo orgânico (kg/m<sup>3</sup>); e D = índice de eficiência de cada nutriente.



### PARA REFLETIR

Para dimensionar corretamente a correção do solo e a adubação devemos conhecer a dinâmica dos elementos no sistema solo planta, proceder a amostragem e análise do solo corretamente, saber interpretar os resultados da análise de solo, determinar a quantidade requerida de nutrientes pelas diferentes culturas e recomendar as quantidades e os adubos corretos.

Nesta unidade nós estudamos todas as etapas, menos os diferentes adubos disponíveis e suas características. Assim, é importante que você busque essas informações para exercer bem seu trabalho, pois a etapa da adubação é a mais cara de um sistema de produção agrícola e sem ela a produtividade das culturas é muito baixa. Também se informe mais sobre os benefícios da adubação orgânica e organomineral!

## ESTUDANDO NA REDE

Confira essas postagens do Instagram sobre os conteúdos desta Unidade!

- ☞ Classificação dos elementos essenciais
- ☞ Capacidade de mobilidade dos elementos no solo
- ☞ Tempo necessário para absorção dos nutrientes pelas folhas
- ☞ Escassez dos elementos da tabela periódica
- ☞ Ciclo do nitrogênio
- ☞ Papel do N no crescimento e fisiologia das plantas
- ☞ Papel do Co e do Mo na FBN
- ☞ Papel do P no crescimento e fisiologia das plantas
- ☞ Disponibilidade de fósforo
- ☞ Fixação de P em função do pH do solo
- ☞ Papel do K no crescimento e fisiologia das plantas
- ☞ Potássio em solo e plantas
- ☞ Papel do Ca no crescimento e fisiologia das plantas
- ☞ Papel do Mg no crescimento e fisiologia das plantas
- ☞ Papel do S no crescimento e fisiologia das plantas
- ☞ Amostragem de solo
- ☞ Importância da análise de solo
- ☞ Adubação de sistemas
- ☞ Utilização da manipueira na adubação
- ☞ Uso eficiente de corretivos e fertilizantes
- ☞ O gesso agrícola é um corretivo de solo?
- ☞ Diferentes tipos de adubos
- ☞ Fertilizantes de liberação lenta e controlada



## VERIFIQUE SUA APRENDIZAGEM

1. Descreva os princípios da fertilidade do solo;
2. Quais os procedimentos e cuidados para coletar corretamente amostras de solo?
3. A análise de solo determina que forma do elemento no solo?
4. O que é uma extração do elemento do solo?
5. Quais elementos podem ser extraídos e determinados usando a solução Mehlich 1?
6. Quais elementos podem ser extraídos e determinados usando a solução de acetato de cálcio (0,5 mol/L a pH 7,0)?
7. Quais elementos podem ser extraídos e determinados usando a solução de cloreto de potássio (1 mol/L)?
8. Por que a disponibilidade de fósforo no solo deve ser determinada usando o teor de argila ou o teor de P remanescente?
9. Por que a disponibilidade de potássio no solo deve ser determinada em função da capacidade de troca de cátions do solo?
10. Realize a recomendação de correção do solo e de adubação proposta no seguinte arquivo: [link](#).

## UNIDADE V

### DESCRIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS



#### OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Ao final desta Unidade, o estudante deverá:

- descrever um perfil de solo no campo;
- correlacionar as características morfológicas do solo com o seu processo de formação e com as suas limitações e potencialidade de uso; e
- identificar as principais características das treze ordens de solo brasileiras.



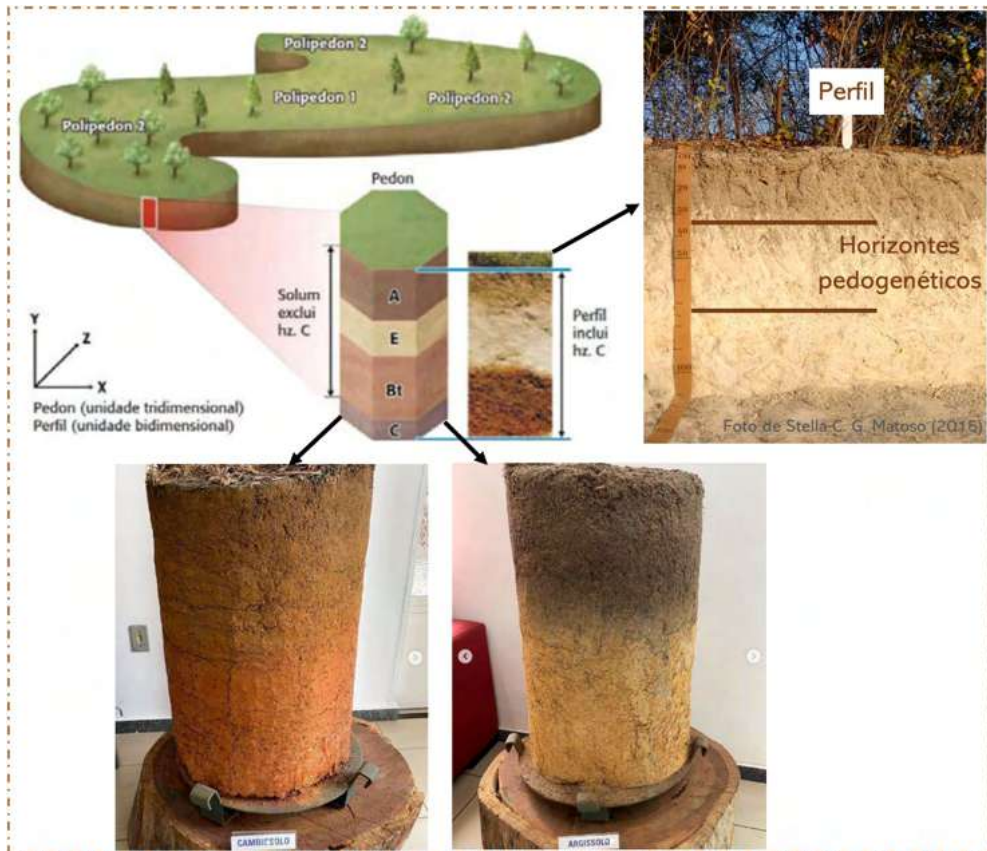
#### FIQUE POR DENTRO

### 1. DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DO SOLO

O solo apresenta características morfológicas próprias, que permitem inferências importantes sobre a sua formação e sobre as possibilidades de uso agrícola. A morfologia do solo refere-se à descrição daquelas propriedades que são detectadas pelos sentidos da visão e do tato (manuseio), como exemplo: cor, textura, estrutura, porosidade, consistência, transição entre horizonte ou camadas etc. Assim, a caracterização morfológica dos solos pode ser realizada no campo e é muito útil para os técnicos da área de Ciências Agrárias.

O pedon é o menor volume que pode ser considerado como um solo completo. É uma seção do solo de área e volume variável, com três dimensões e em forma poliédrica. Na maioria dos solos a forma hexagonal parece ser a mais aceita, por ajustar-se melhor na dimensão horizontal, no entanto outras formas podem caracterizar um determinado tipo de solo.

Um pedon pode, portanto, representar toda a variabilidade de um perfil de solo, mas não representa a variabilidade total de uma área mais ampla, que inclui outros pedons vizinhos e semelhantes. Logo, essa área mais ampla é chamada de polipidon, que consiste no conjunto de pedons contínuos e semelhantes, que caracterizam o corpo de um solo. O polipidon tem uma área mínima de 1 m<sup>2</sup> e uma área máxima não especificada. Na superfície da terra, normalmente, um polipidon é circundado por outros polipedons. A figura a seguir representa estes conceitos.



UFSM

@solo.fertil

Para a descrição morfológica do solo é mais prático avaliar um perfil do que um pedon. O perfil de solo consiste na exposição ou corte vertical, que vai desde a superfície até o material de origem. Se o material de origem estiver muito profundo, usamos uma seção de controle de 2 m de profundidade e, em alguns casos, de 4 m. O perfil inclui todos os horizontes pedogenéticos (formados pelo intemperismo do material de origem) e, em solos sedimentares, camadas depositadas sem relação pedogenética entre si.

Existe metodologia adequada para a descrição de perfis de solos no Brasil. As principais referências são: 1) *Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo*, que é uma publicação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), está na sua sétima edição (2015) e possui apenas versão impressa e 2) *Manual Técnico de Pedologia*, que é uma publicação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), está na sua terceira edição (2015) e possui versão impressa e *ebook*.

## 1.1 Seleção do local para a descrição do perfil

Para escolher o local no qual vamos examinar e descrever perfis de solo levamos em consideração algumas finalidades, por exemplo: identificação e caracterização de unidade de mapeamento, estudo de unidades taxonômicas, estudo de gênese do solo ou de problemas como manejo, fertilidade, projetos de irrigação, poluição ambiental etc.

A seleção do local deve ser realizada após o reconhecimento da área. Não é recomendado descrições de perfis e amostragens de solos em locais com transição entre unidades de mapeamento, variações de fase de relevo ou de vegetação.

## 1.2 Preparo do perfil de solo

Um perfil de solo pode ser preparado em uma trincheira ou em um corte de estrada ou barranco, como podemos ver na figura a seguir. A trincheira deve ter tamanho suficiente para que possa avaliar as características morfológicas, coletar os materiais e fotografar. A abertura da trincheira é quase sempre realizada manualmente. E para isso são necessárias algumas ferramentas básicas, tanto para a abertura como para as avaliações iniciais da morfologia.

Na abertura da trincheira, o tamanho recomendado é 1,5 m de comprimento por 1,2 m de largura e 2,0 m de profundidade ou até entrar em contato com a rocha. Para solos das classes texturais areia ou areia franca, é necessário que o perfil atinja 4 m de profundidade, a fim de verificar se há a ocorrência de horizonte B espódico, formado pelo processo pedogenético de podzolização. A trincheira deve ter as dimensões que são utilizadas nos levantamentos em trabalhos de solos.



✎ Nascimento et al. (2013)

Em cortes de estrada ou barranco devemos analisar se não houve alterações significativas no perfil, como adensamento pelo tráfego de máquinas e inversão na ordem dos horizontes por corte e aterro. Se o perfil estiver em boas condições devemos retirar uma camada de pelo menos 40 cm de solo ao longo de toda a parede vertical, a fim de garantir a influência de fatores externos, como ciclos de umedecimento e secagem e deposição de poeira.

### 1.3 Descrição geral do ambiente

Antes de iniciarmos a descrição é fundamental fazer a descrição geral do ambiente no qual o perfil está inserido. Essas informações são importantes para auxiliar na compreensão do processo de gênese dos atributos morfológicos (morfogênese) a serem observados e descritos, bem como, no estabelecimento dos limites das potencialidades de uso agrícola do solo.

A descrição geral é feita em uma ficha de campo com um modelo pré-determinado e deve conter as seguintes informações:

**PERFIL** – estabelecer um número ou código para o perfil. Essa informação é importante em levantamentos, nos quais se faz a descrição de vários perfis.

**DATA DA DESCRIÇÃO** – registrar dia, mês e ano da descrição.

**LOCALIZAÇÃO DO PERFIL** – indicar o endereço, município e estado, acrescentar uma descrição detalhada de como chegar no local e as coordenadas geográficas.

**SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL** – indicar a posição do perfil na paisagem (depressão, vales, planícies de inundação, terraços fluviais, topos, encostas etc.) que ele está inserido. Registrar a declividade do local, que representa o desnível existente na superfície do terreno em relação à grandeza 100, sendo expressa em porcentagem (a declividade é medida com um equipamento chamado clinômetro e existem aplicativos móveis para isso). Mencionar o tipo de vegetação (floresta, cerrado, gramado; pastagem plantada, campo natural, lavoura etc.) sobre o perfil e indicar se é natural ou não.

**ALTITUDE** – registrar a altitude do local, que pode ser obtida com utilização de altímetro, extraída de cartas planialtimétricas ou de aparelhos GPS (*Global Positioning System*).

**LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA** – identificar a(s) rocha(s) que forma(m) o substrato no local do perfil, a unidade geológica associada (Complexo, Grupo, Suíte, Formação etc.) e o período geológico. Essas informações podem ser obtidas em mapas geológicos. Em Rondônia uma importante ferramenta

é o livro *Geodiversidade do Estado de Rondônia* disponível para  download.

**MATERIAL ORIGINÁRIO** – especificar se o solo foi formado a partir do intemperismo das rochas descritas na litologia ou de materiais transportados de outros locais.

**PEDREGOSIDADE** – indicar a presença de calhaus (2 a 20 cm de diâmetro) e matacões (> 20 cm de diâmetro) na superfície do terreno ou na parte superficial do perfil de acordo com a seguinte classificação: não pedregosa (não há a presença de calhaus e matacões), ligeiramente pedregosa (ocorrência de calhaus e matacões, ocupando menos de 1% da superfície do terreno e/ou massa do solo), moderadamente pedregosa (ocorrência de calhaus e matacões, ocupando de 1 a 3% da superfície do terreno e/ou massa do solo), pedregosa (ocorrência de calhaus e matacões, ocupando de 3 a 15% da superfície do terreno e/ou massa do solo), muito pedregosa (ocorrência de calhaus e matacões, ocupando de 15 a 50% da superfície do terreno e/ou massa do solo) e extremamente pedregosa (ocorrência de calhaus e matacões, ocupando de 50 a 90% da superfície do terreno e/ou massa do solo).

**ROCHOSIDADE** – descrever se há a exposição de rochas na superfície do terreno, de acordo com a seguinte classificação: não rochosa (não há ocorrência de afloramentos rochosos, ou a sua ocorrência é muito pequena, ocupando 2% da superfície do terreno), ligeiramente rochosa (ocorrem afloramentos rochosos ou de matacões ocupando de 2 a 10% da superfície do terreno e com uma distância de 30 a 100 m entre si), moderadamente rochosa (ocorrem afloramentos rochosos ou de matacões ocupando de 10 a 25% da superfície do terreno e com uma distância de 10 a 30 m entre si), rochosa (ocorrem afloramentos rochosos ou de matacões ocupando de 25 a 50% da superfície do terreno e com uma distância de 3 a 10 m entre si), muito rochosa (ocorrem afloramentos rochosos ou de matacões ocupando de 50 a 90% da superfície do terreno e com uma distância entre si menor de 3 m) e extremamente rochosa (ocorrem afloramentos rochosos ou de matacões ocupando mais de 90% da superfície do terreno).

**RELEVO LOCAL** – indicar a classe de relevo do local onde será descrito o perfil em função da sua declividade: plano (0-3%), suave ondulado (3-8%), ondulado (8-20%), forte ondulado (20-45%), montanhoso (45-75%) e escarpado (> 75%).

**RELEVO REGIONAL** – indicar a classe de relevo geral da área, na qual será descrito o perfil, em função da sua declividade: plano (0-3%), suave ondulado (3-8%), ondulado (8-20%), forte ondulado (20-45%), montanhoso (45-75%) e escarpado (> 75%).

**EROSÃO** – especificar o tipo de erosão (eólica ou hídrica – laminar e sulcos) e

a intensidade do processo. A intensidade é classificada como: não aparente (sem sinais perceptíveis de erosão), ligeira (remoção de menos de 25% do horizonte superficial ou dos primeiros 20 cm do solo), moderada (remoção de 25 a 75% do horizonte superficial ou dos primeiros 20 cm do solo), forte (remoção de mais de 75% do horizonte superficial ou dos primeiros 20 cm do solo), muito forte (remoção completa do horizonte superficial ou dos primeiros 20 cm do solo) e extremamente forte (remoção completa do horizonte A e B, expondo o horizonte C à superfície, com presença de sulcos e/ou voçorocas).

**DRENAGEM** – classificar a drenagem do perfil em excessivamente drenado, fortemente drenado, acentuadamente drenado, bem drenado, moderadamente drenado, imperfeitamente drenado, mal drenado ou muito mal drenado, em função da textura, relevo, permeabilidade, posição na paisagem, cor etc.

**VEGETAÇÃO PRIMÁRIA** – descrever o tipo de vegetação original do local, seguindo esta classificação: Floresta Equatorial (perúmida, perenifólia, subperenifólia, subcaducifólia, higrófila de várzea ou hidrófila de várzea), Floresta Tropical (perúmida, perenifólia, subperenifólia, subcaducifólia, caducifólia, higrófila de várzea ou hidrófila de várzea), Floresta Subtropical (perúmida, perenifólia, subperenifólia, subcaducifólia, caducifólia ou higrófila de várzea), Vegetação de Restinga (Floresta não hidrófila de restinga, Floresta hidrófila de restinga ou Restinga arbustiva e campo de restinga), Cerrado (Cerrado equatorial subperenifólio, Campo cerrado equatorial, Vereda equatorial, Cerrado e/ou Cerradão tropical subperenifólio, Cerrado e/ou Cerradão tropical subcaducifólio ou Cerrado e/ou Cerradão tropical caducifólio), Caatinga (hiperxerófila, hipoxerófila, do pantanal ou de várzea) e Vegetação Campestre (Campo equatorial, Campo equatorial hidrófilo de várzea, Campo equatorial higrófilo de várzea, Campo tropical, Campo tropical hidrófilo de várzea, Campo tropical higrófilo de várzea, Campo subtropical, Campo subtropical hidrófilo de várzea, Campo xerófilo, Pampas ou Campo hidrófilo de surgente).

**USO ATUAL** – especificar a utilização atual do terreno, seja ela, agrícola ou não.

**DESCRITO E COLETADO POR** – identificar o nome da(s) pessoa(s) que realizou (aram) a descrição e coleta de amostras do perfil de solo.

Confira um exemplo da ficha de descrição geral preenchida!

#### **Perfil – RO-06**

DATA DA DESCRIÇÃO – 16/07/2016

CLASSIFICAÇÃO – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico luvissólico, textura média/argilosa, A moderado, caulínítico, Tb, mesoférrico, fase floresta equatorial subperenifólia, relevo suave ondulado.

LOCALIZAÇÃO – Perfil situado em propriedade rural vizinha ao IFRO de Colorado do Oeste, a 2,2 km do refeitório (no lado esquerdo da parede do vertedouro de pequena barragem de terra). Município de Colorado do Oeste, Rondônia. Coordenadas: 13° 08' 02,3" S e 60° 29' 02,5" WGr. (datum WGS 84).

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL – Terço inferior de encosta com 6 a 8% de declive, sob cobertura de gramíneas forrageiras.

ALTITUDE – 400 metros.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLOGIA – Rochas psamopelíticas, metabasaltos e piroclásticas, de Grupo Nova Brasilândia, Mesoproterozóico (IBGE, 2006a).

MATERIAL ORIGINÁRIO – Produto de alteração das litologias supracitadas.

PEDREGOSIDADE – Não pedregosa.

ROCHOSIDADE – Não rochosa.

RELEVO LOCAL – Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL – Suave ondulado e ondulado com vertentes curtas e densidade de drenagem moderada a alta.

EROSÃO – Não aparente.

DRENAGEM – Bem drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA – Floresta equatorial subperenifólia.

USO ATUAL – Pastagem (*Brachiaria brizanta*).

DESCRITO E COLETADO POR – Virlei Álvaro de Oliveira, José Francisco Lumbreras, Maurício Rizzato Coelho, Ângelo Mansur Mendes, Henrique Nery Cipriani e Iraque Moura de Medeiros.

📍 Lumbreras et al. (2019)

### **1.4 Sequência para exame morfológico do perfil**

No exame de um perfil de solo, descrevemos as características morfológicas (cor, textura, estrutura, porosidade, cerosidade, consistência, cimentação, nódulos e concreções minerais, presença de carbonos, manganês e de sulfetos, eflorescências e coesão) de todos os horizontes ou camadas que compõem o perfil. São as próprias diferenças na morfologia das seções do solo que nos auxiliam a delimitar os horizontes e camadas do solo. O uso de uma faca para verificar diferenças na morfologia é essencial para delimitar os horizontes.

Antes de ir para o campo devemos dominar alguns conceitos:

**Camada:** seção de constituição mineral ou orgânica, à superfície do terreno ou aproximadamente paralela a esta, parcialmente exposta no perfil do solo e possuindo conjunto de propriedades não resultantes ou pouco influenciadas pela atuação dos processos pedogenéticos.

**Horizonte:** seção aproximadamente paralela à superfície do terreno, originada e desenvolvida por processos pedogenéticos, que resultam em um conjunto de características que compreendem a cor, textura, mineralogia, estrutura e outras propriedades físicas e químicas. Os horizontes são definidos e identificados por esse conjunto de características.

**Horizonte pedogenético:** seção horizontal do perfil do solo que expressa diferenças qualitativas condicionadas pelos diferentes graus de alteração por que passam o material de origem, ou seja, seção que se diferencia das demais por variações verificadas na sua morfologia (cor, textura, porosidade etc.) ou na sua constituição, decorrentes do processo de formação do solo. Também pode ser chamado de horizonte genético ou pedogênico e é designado pelas letras O, H, A, E, B, C, F e R.

**O** - Horizonte ou camada superficial de constituição orgânica, formado em condições de boa drenagem.

**H** - Horizonte ou camada de constituição orgânica, superficial ou não, composto de resíduos orgânicos acumulados ou em acumulação sob condições de prolongada estagnação de água, salvo se artificialmente drenado.

**A** - Horizonte mineral, superficial ou abaixo de horizonte ou camada O ou H, se diferencia do horizonte subsuperficial devido ao enriquecimento de matéria orgânica decomposta e a perda ou translocação de compostos minerais.

**E** - Horizonte mineral eluvial, ou seja, horizonte de perda. Sua característica principal é a perda de argilas silicatadas, óxidos de ferro e alumínio ou matéria orgânica, individualmente ou em conjunto, com resultante concentração residual de areia e silte, constituídos de quartzo ou outros minerais resistentes e/ou resultante descolorimento. Geralmente se encontra entre um horizonte A e B, sendo mais claro que ambos.

**B** - Horizonte subsuperficial de acumulação de argila e compostos de ferro, alumínio, silício e húmus, com bom desenvolvimento estrutural. Geralmente, se encontra abaixo de um horizonte A ou E e acima de um horizonte C.

**C** - Horizonte ou camada mineral de material inconsolidado, relativamente pouco afetado por processos pedogenéticos (baixo grau de intemperismo), sem ou com pouca expressão de propriedades identificadoras de qualquer outro horizonte principal. Diferencia-se da rocha por ser facilmente escavado. Geralmente se encontra abaixo de um horizonte A ou B e acima do horizonte R.

**F** - Horizonte ou camada de material mineral consolidado, rico em ferro e/ou alumínio e pobre em matéria orgânica, originado pelo endurecimento irreversível de compostos de ferro e/ou alumínio. Geralmente se encontra sob horizonte A, E ou B.

**R** - Camada mineral de material consolidado, duro, que constitui substrato rochoso contínuo, ou praticamente contínuo, a não ser pelas poucas e estreitas fendas que pode apresentar.

Os horizontes pedogenéticos ainda podem ser transicionais (quando possuem características combinadas de dois horizontes) e intermediários (quando um horizonte contém parte de outro). Os horizontes transicionais são identificados com as letras correspondentes aos dois horizontes, escrevendo-se primeiro a letra do horizonte predominante (AE, AB, AC, EA, BA, BE, BC e CB). A identificação dos intermediários segue o mesmo raciocínio, porém usa-se uma barra entre as letras (A/B, A/E, A/C, E/A, B/A, B/E, B/C, C/B e C/A).

**Horizonte diagnóstico:** horizonte arbitrário estabelecido como um conjunto de propriedades selecionadas em grau expressivo que servem de requisito para a construção taxonômica, adotado para identificar as classes (táxons) de solos.

No campo, descrevemos, portanto, os horizontes pedogenéticos e as camadas de solo. As camadas são mais comuns em regiões sedimentares, onde frequentemente se recebe material transportado pela água ou pelo vento. Portanto, é mais frequente trabalharmos com os horizontes. Na figura vemos exemplos da delimitação de horizontes.



Observamos que em alguns perfis, como o da direita, é mais fácil perceber as diferenças morfológicas dos horizontes e, em outros, como o da esquerda, essa a delimitação dos horizontes uma tarefa difícil. Outro ponto importante, é que não devemos nos pautar apenas na diferença de cor para identificar os horizontes, mas em todos os atributos morfológicos.

👉 Lumbreras et al. (2019)

Na sequência vamos aprender a descrever as características morfológicas dos horizontes que constituem um perfil de solo e discutir que informações a morfologia do solo nos dá.

Durante a descrição no campo, o ideal é levar uma ficha de descrição semiestruturada para realizar o registro de todas as informações de cada horizonte ou camada de solo. A seguir temos uma proposta de ficha que pode ser impressa e levada para o campo. Como cada perfil tem uma quantidade diferente de horizontes e/ou camadas, a separação horizontal na ficha é feita no campo após a identificação dos horizontes no campo.

Perfil:

Horizonte / profundidade	Transição	Cor e mosqueados	Textura	Consistência			Estrutura	Cerosidade
				seco	úmido	molhado		
POROS: RAÍZES: OBSERVAÇÕES:								

### 1.5 Profundidade e espessura

A profundidade de cada horizonte é tomada a partir de uma fita métrica ou trena colocada na posição vertical no perfil. É importante fazer coincidir o zero da fita com a superfície do solo, como visualizamos nas imagens anteriores.

Para cada horizonte ou camada, a profundidade é determinada pela medida observada no seu limite superior e inferior, e a espessura é calculada pela diferença entre esses limites. Para as transições planas não há nenhuma dificuldade nessa tarefa. No caso de horizontes ou camadas com limites de transição ondulada ou irregular, devemos anotar o valor médio do limite superior e inferior e, em seguida, colocar entre parênteses, os valores máximos e mínimos de ambos os limites (superior e inferior).

Tomando como exemplo o Perfil RO-08 da figura anterior a descrição da profundidade e espessura seria feita da seguinte forma:

Horizonte	Profundidade	Espessura
Aup	0 - 13 cm	13 cm
Au	13 - 34 (27 - 70) cm	21 cm (14 - 57 cm)
2BA	34 - 54 cm	20 cm
2Bt1	54 - 74 cm	20 cm
2Bt2	74 - 113 cm	39 cm
2Bw	113 - 143 cm	30 cm
2Bwc	143 - 165 cm+	22 cm +

O sinal de + indica que o limite inferior do horizonte não foi atingido/determinado.

Camadas ou horizontes espessos indicam elevada duração e/ou intensidade do

processo pedogenético específico (vimos esse conteúdo na Unidade II) que o originou. Como exemplo, solos orgânicos com horizonte hístico espesso indicam elevada cumulização, solos minerais com horizonte B latossólico espesso indicam elevada latossolização e assim por diante.

## 1.6 Transição entre horizontes e camadas

Após delimitar os horizontes ou camadas passamos a analisar a transição entre eles, que é classificada quanto ao grau de nitidez e quanto à forma ou topografia.

Quanto à forma ou topografia, temos a seguinte classificação:

Forma ou topografia	Características
Plana	Paralela à superfície com pouca ou nenhuma irregularidade.
Ondulada	Com desníveis em relação à superfície em formato de ondas mais largas que profundas.
Irregular	Com desníveis em relação à superfície em formato de ondas mais profundas que largas.
Descontínua	Partes de um horizonte encontram-se desconectadas de outras do mesmo horizonte.

Quanto ao grau de nitidez, temos a seguinte classificação:

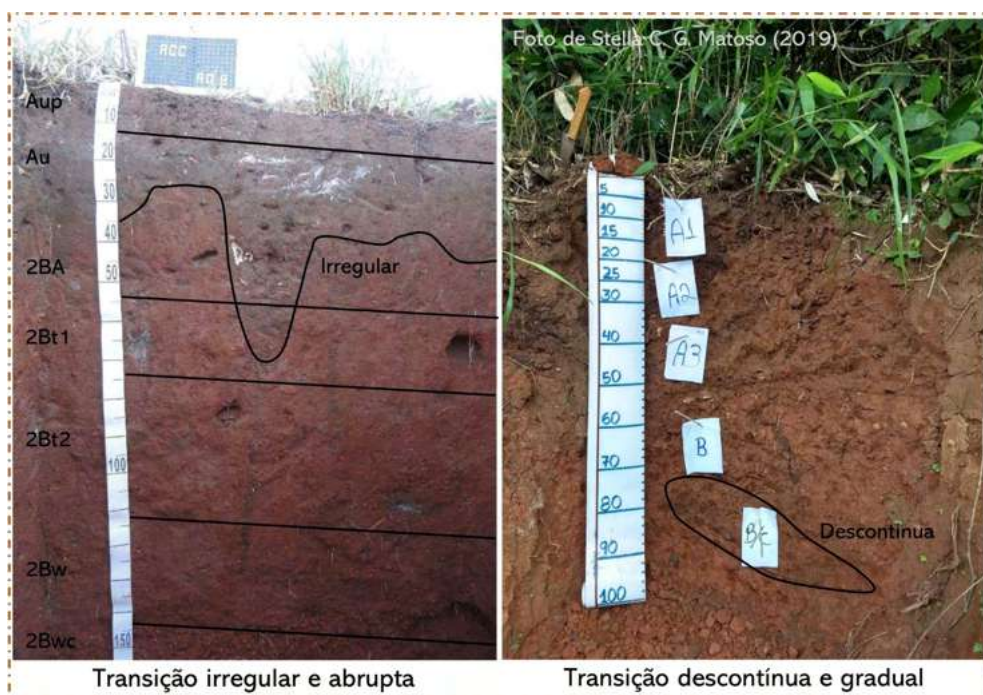
Grau ou nitidez	Faixa de separação (cm)
Abrupta	< 2,5
Clara	2,5 - 7,5
Gradual	7,5 - 12,5
Difusa	> 12,5

O tipo de transição entre os horizontes ou camadas nos dá informações úteis sobre a sua gênese e o seu potencial de uso. Na figura anterior, no lado esquerdo temos o Perfil RO-09, que é um Latossolo Amarelo Ácrico típico, localizado no município de Porto Velho, RO. A transição entre os horizontes é plana, com grau de nitidez variando de gradual a difuso, demonstrando a homogeneidade do perfil, que é um indicativo de elevado grau de intemperismo.

No lado direito da mesma figura temos o Perfil RO-13, que é um Cambissolo Háplico Ta Eutrófico saprolítico vertissólico epirredóxico, localizado em Rolim de Moura, RO. Esse solo apresenta deficiência de drenagem evidenciada pelas cores acinzentadas no perfil. A transição plana e clara aos 25 cm de profundidade mostra que esse é o nível que a água

atinge nos períodos chuvosos.

Na figura a seguir, no lado esquerdo temos o Perfil RO-08, que é uma Terra Preta de Índio classificada como Argissolo Vermelho Eutrófico abrupto, localizado no município de Cabixi, RO. A transição irregular e abrupta indica o processo de mobilização da matéria orgânica, provavelmente pela atividade biológica do solo. No lado direito da mesma figura, temos um perfil de Argissolo Vermelho Eutrófico cambissólico, que se localiza no Instituto Federal de Rondônia, *Campus* Colorado do Oeste. A transição descontínua e gradual indica o baixo grau de intemperização desse perfil, pois ainda há partes de horizonte C dentro do horizonte B.



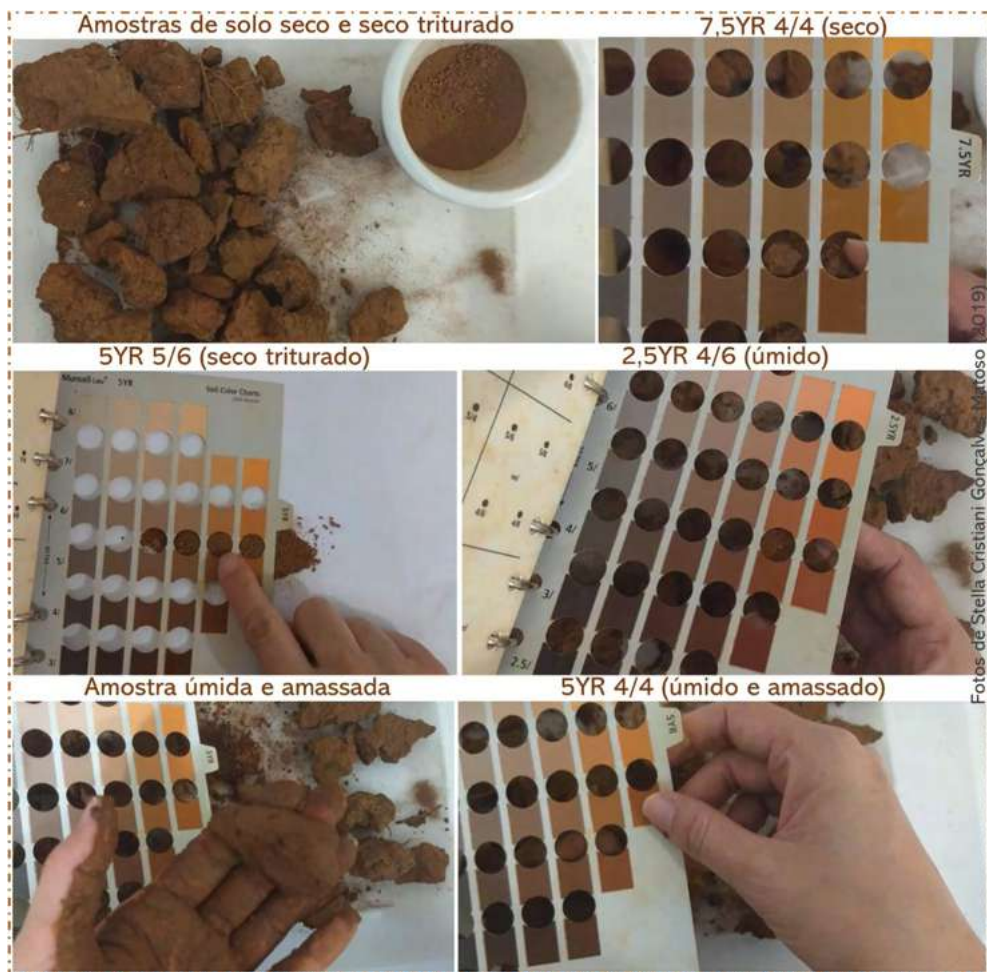
👉 Lumbreras et al. (2019)

## 1.7 Cor

A caracterização da cor segue uma padronização mundial: ‘o Sistema Munsell de Cores’, que contempla o grau de intensidade de três componentes da cor: matiz, valor e croma. O matiz refere-se ao espectro dominante da cor (vermelho, azul, amarelo, verde e púrpura), fica localizado no canto superior de cada página da Carta de Munsell e é representado por uma ou duas letras maiúsculas que são referentes às iniciais das cores procedentes de números que variam entre intervalos definidos de 0 a 10. O valor representa

a tonalidade da cor apresentada, está localizado na escala vertical da página, variando de zero a 10. O croma é a pureza relativa ou saturação da cor, aparece na escala horizontal, com valores de zero a 8.

A caracterização da cor deve ser realizada no campo em amostras seca (torrão seco) e úmida (torrão umedecido). Para descrições mais detalhadas pode-se determinar a cor em amostras seca triturada (torrões triturados até virar pó) e úmida amassada (torrão umedecido e amassado até se tornar barro). Observe o exemplo!



Na ficha de descrição de campo, a cor do solo determinada na figura anterior seria descrita da seguinte forma: vermelho (2,5YR 4/6, úmido) e bruno (7,5YR 4/4, seco).

Alguns horizontes podem apresentar múltiplas cores. Quando conseguimos

distinguir uma cor predominante (cor de fundo ou matriz) no horizonte, chamamos esse padrão de mescla de cores de mosqueado, e quando não há uma cor predominante temos o padrão variegado. Na descrição do perfil é importante descrever todas as cores que aparecem no horizonte.



👉 Lumbreras et al. (2019)

Para a coloração variegada fazemos a descrição de todas as cores que aparecem no horizonte. Para os mosqueados, descrevemos a cor da matriz (cor de fundo), a(s) cor(es) do(s) principal(is) mosqueado(s) e caracterizamos os mosqueados, da seguinte forma: 1) quanto à quantidade – pouco (menos de 2% da área é mosqueada), comum (2 a < 20% da área é mosqueada) e abundante (20% ou mais da área é mosqueada); 2) quanto ao tamanho – pequeno (eixo maior inferior a 5 mm), médio (eixo maior de 5 a 15 mm) e grande (eixo maior superior a 15 mm); e 3) quanto ao contraste – difuso (valor e croma

do mosqueado variam muito pouco em relação à cor de fundo), distinto (o mosqueado é facilmente distinguível, sendo que o matiz varia de uma a duas unidades da cor de fundo, e o valor e o croma, de uma a algumas unidades) e proeminente (o matiz, valor e/ou croma diversificam-se em unidades em relação à cor de fundo).

Os solos podem apresentar cores variadas, tais como: preto, vermelho, amarelo, acinzentado etc. Essa variação depende não só do material de origem, mas também de sua posição na paisagem, conteúdo de matéria orgânica e mineralogia, dentre outros fatores.

Em geral, quanto mais material orgânico, mais escuro é o solo, o que pode indicar boas condições de fertilidade e elevada atividade microbiana. Normalmente, o horizonte A do solo é mais escuro, justamente por possuir mais matéria orgânica, como podemos observar nas imagens a seguir.



Nesses três solos podemos observar que o horizonte superficial é mais escuro que os horizontes subsuperficiais, devido ao enriquecimento em matéria orgânica (MO). Além disso, vemos, da esquerda para a direita, que quanto mais clara for a cor de fundo do solo, mais expressiva é a coloração escura. Assim, apesar de aparentar que o Neossolo é mais rico em MO que os demais, na verdade é o contrário, o solo com maior teor de MO é o Argissolo, seguido do Latossolo e do Neossolo.

As cores mais avermelhadas ou amareladas estão frequentemente associadas aos diferentes tipos de óxidos de ferro existentes nos solos. Um exemplo são os solos popularmente conhecidos como “terra roxa” (na verdade seria “rosso”, do italiano vermelho). A cor avermelhada desses solos é devida à presença dos óxidos de ferro (hematita). No

nosso estado de Rondônia temos solos com essa coloração em regiões com material de origem escuro (rico em minerais máficos e ultramáficos), como podemos ver na sequência de figuras.



Solo vermelho

Chupinguaia, RO



Fotos de Stella Cristiani Gonçalves Matoso (2015)

Rocha basalto

Solos vermelhos

Alta Floresta do Oeste, RO



Gonçalves Matoso (2015)

Fotos de Stella Cristiani

Material de origem escuro (rico em minerais máficos)

Solos amarelos indicam o predomínio da goethita em relação à hematita. Solos com elevada quantidade de quartzo na fração mineral geralmente são claros. Nos solos mal drenados (com excesso de água), um ou mais horizontes do solo podem ficar com cor acinzentada. Essa cor indica que o ferro sofreu o processo de redução, devido às

condições de ausência de oxigênio. Observemos a figura abaixo!



A presença de mosqueados ou coloração variegada podem nos dar indicativos sobre a presença de matéria orgânica em decomposição, carvão, minerais primários, carbonatos, óxidos, sulfatos etc. A formação de mosqueados e coloração variegada é comum onde ocorre a oscilação do lençol freático, devido aos ciclos de redução e oxidação do ferro. O ferro oxidado se acumula em determinados pontos tingindo o solo. Nas figuras a seguir vemos alguns exemplos.



Coloração variegada em horizonte C, devido à presença de minerais primários



Fotos de Stella Cristiani Gonçalves Matoso (2019; 2011)

Mosqueado escuro devido à presença de óxidos de manganês em ambiente redutor



Mosqueado claro (abaixo de 95 cm) devido à presença de concreções de carbonato de cálcio



Fotos de Sergio Hiedair Shimizu

Mosqueado vermelho-amarelo devido a fenômenos de oxirredução por restrição de drenagem



Foto de Stella Cristiani Gonçalves Matoso (2011)



Detalhe das concreções de carbonato de cálcio

Mosqueado escuro devido à presença de matéria orgânica em decomposição



Foto de Virlei Álvaro de Oliveira

👉 Anjos et al. (2013)

👉 IBGE (2015)

## 1.8 Textura

Como vimos na Unidade III, a textura do solo pode ser determinada por métodos laboratoriais e por método expedito, realizado no campo. Na descrição de perfis de solo usamos as duas metodologias. Fazemos a determinação no campo e coletamos amostras de cada horizonte para posteriormente realizar a análise granulométrica no laboratório. Vamos relembrar esse conteúdo com a postagem a seguir! Obs.: limo é sinônimo de silte.

**Sobre a textura do solo**

A **textura do solo** tem uma forte influência na **interação entre o solo e as plantas**. A textura é determinada como a proporção dos elementos finos presentes no solo.

<p>0,002 mm      0,02 mm</p> <p>Argila</p>	<p>0,02 mm      0,02 mm</p> <p>Limo</p>
<p>As partículas de <b>argila</b> são as mais pequenas.</p> <p>Solos argilosos são muito densos e têm um <b>grande poder de retenção de água e nutrientes</b>.</p>	<p>O limo tem <b>dimensões intermédias</b> à areia e argila, e por consequência também tem propriedades intermédias.</p>
<p>0,2 mm      2,0 mm</p> <p>Areia fina      Areia grossa</p>	<p>Os solos agrícolas normalmente têm sempre os <b>três elementos descritos presentes</b>. Consoante a percentagem de cada um, pode ser dada então a classificação da textura.</p>



Amostras ricas em areia dão a sensação de aspereza, apresentam agregados com baixa estabilidade com predomínio de material solto, não possuem pegajosidade e plasticidade e, portanto, não podem ser moldadas. Ao manusear uma amostra siltosa percebemos sedosidade, plasticidade e ligeira coesão quando seca. Já a amostra argilosa quando úmida se torna pegajosa e plástica, quando seca fica muito dura e forma agregados com outras partículas.

Solos muito intemperizados, nos quais predominam na fração argila os minerais caulinita e oxihidróxidos de ferro e de alumínio (goethita, hematita e gibbsita), desenvolvem estrutura forte muito pequena granular, e são mais difíceis de trabalhar, logo, a amostra deve ser excessivamente manuseada para desfazer essas estruturas. Caso contrário, esses pequenos grânulos podem ser confundidos com partículas de areia. Esse é um detalhe importante, pois é uma característica frequente nos Latossolos argilosos de nossa região. Abaixo temos um exemplo de um Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico típico, de textura muito argilosa.



Latossolo Vermelho-Amarelo Ácrico típico, textura muito argilosa, A moderado, caulinitico-oxidico, mesoférrico, fase ceradão equatorial subperenifólio, relevo plano.

LOCALIZAÇÃO – Campo Experimental da Embrapa Rondônia. Coordenadas: 12° 47' 27,3" S e 60° 06' 2,6" WGr.

A estrutura forte muito pequena e pequena granular e moderada média e pequena blocos subangulares desse solo propicia excelentes condições de infiltração e retenção de água, bem como, de mecanização. Por outro lado a mineralogia de argila bastante intemperizada confere a esse solo condições de fertilidade do solo restritiva a algumas culturas.

↗ Lumbreras et al. (2019)

Nos horizontes superficiais, mais ricos em matéria orgânica, devemos tomar cuidado com a sensação de sedosidade, pois a matéria orgânica também dá essa sensação. É importante observar que em solos intemperizados o maior teor de silte está nos horizontes

ou camadas mais profundas, mais perto do material de origem.

É evidente que a determinação da textura no campo deve ser realizada por profissionais que treinaram a sensação tátil em amostras de textura conhecida e determinada em laboratório. Dificilmente uma amostra será formada por apenas uma fração granulométrica, por isso definimos a textura em treze classes texturais (Como vimos na Unidade III). Nos levantamentos de campo é usual classificar a textura em grupamentos texturais (classificação que engloba duas ou mais classes texturais). O quadro a seguir pode auxiliar a chegar aos diferentes grupamentos texturais.

Sensações táteis dos diferentes grupamentos texturais

Grupamento textural	Classes texturais	Sensação tátil	
		Principal	Adicional
Muito argilosa	Muito argilosa (mais de 600 g/kg de argila)	Muito pegajosa e muito moldável	Ligeira sedosidade
Argilosa	Argilossiltosa, argila, argiloarenosa, francoargilosa e francoargilossiltosa (350 a 600 g/kg de argila)	Pegajosa e moldável	Ligeira sedosidade
Média	Classes texturais ou parte delas que tenham menos de 350 g/kg de argila e mais de 150 g/kg de areia, excluídas as classes texturais areia e areia-franca	Pegajosa e moldável	Aumento da sensação de sedosidade em relação ao grupamento argilosa ou percepção de aspereza
Siltosa	Compreende parte de classes texturais que tenham silte maior que 650 g/kg, areia menor que 150 g/kg e argila menor que 350 g/kg	Forte sedosidade	De não pegajosa a pegajosa e moldável
Arenosa	Areia e areia-franca (menos de 150 g/kg de argila)	Forte aspereza	Não pegajosa e não moldável

**Importante:** os solos de textura média a argilosa podem apresentar menor pegajosidade e plasticidade do que o descrito no quadro quando forem oxidicos, e maior quando forem esmectíticos.

## 1.9 Consistência

É um atributo morfológico do solo resultante das forças físicas de coesão e adesão entre as partículas em vários graus de umidade. Assim, como a textura, a consistência é observada com o auxílio do tato, através da manipulação da amostra, sendo expressa pela dureza, friabilidade, pegajosidade e plasticidade do solo.

### CONSISTÊNCIA DO SOLO

A consistência do solo é a sua resistência à desagregação, sua moldabilidade e sua tendência de aderir a outros objetos. Aspectos práticos da consistência, que são facilmente observados, são a dureza que certos solos apresentam quando secos, ou a pegajosidade que alguns apresentam quando molhados.

A consistência do solo é consequência das forças de **adesão** e **coesão**. A **adesão** corresponde a forças existentes entre a água e os sólidos do solo, sendo que a adesão é máxima com o solo molhado. A **coesão** corresponde a forças existentes entre as partículas sólidas do solo, assim, a coesão máxima ocorre quando o solo está seco.

### CONSISTÊNCIA DO SOLO SECO (dureza)

Quando um solo está seco, a coesão é máxima e a adesão é nula, a forma de consistência que se manifesta é a **dureza**.

Para determinar a dureza pega-se um torrão de solo, a fim de tentar quebrá-lo com os dedos, ou, se não for possível, com a(s) mão(s). A consistência do solo seco varia de solta até extremamente dura.



### CONSISTÊNCIA DO SOLO MOLHADO (friabilidade)

Quando um solo está úmido, tanto as forças de coesão como de adesão são baixas, e a forma de consistência manifestada é a **friabilidade**.

É também determinada a partir de um torrão de solo, mas este deve estar ligeiramente úmido (não molhado). Tenta-se romper o torrão úmido com os dedos (ou se necessário com a mão), para verificar a resistência à pressão, pode variar de solta a extremamente firme.



Estado ideal para se manejar o solo.

### CONSISTÊNCIA DO SOLO MOLHADO (plasticidade e pegajosidade)

Quando o solo está molhado, a adesão é máxima e a coesão é nula, os estados de consistência que se manifestam são a **plasticidade** e a **pegajosidade**.

A plasticidade é observada quando o material do solo, no estado molhado, ao ser manipulado, pode ser modelado constituindo diferentes formas, já a pegajosidade refere-se e à aderência do solo a outros objetos, quando molhado.



 @solonaescolaufpr

Como a consistência do solo tem relação direta com a textura, e em ambas as avaliações, manuseia-se a amostra úmida e molhada, essas determinações podem ser realizadas juntas. Na sequência de imagens a seguir, retiradas do *Manual Técnico de Pedologia* (IBGE, 2015), vemos os procedimentos no campo para a determinação da

consistência nos três estados de umidade do solo.




Para avaliar a consistência do solo seco deve-se selecionar um torrão seco e pressioná-lo entre o polegar e o indicador. Assim, chegamos a uma das classes abaixo:

- Solta** - não coerente entre o polegar e o indicador;
- Macia** - fracamente coerente e frágil, quebrando-se em material pulverizado ou grãos individuais sob pressão muito leve;
- Ligeiramente dura** - fracamente resistente à pressão, sendo facilmente quebrável entre o polegar e o indicador;
- Dura** - moderadamente resistente à pressão. Pode ser quebrado nas mãos, sem dificuldade, mas dificilmente quebrável entre o indicador e o polegar;
- Muito dura** - muito resistente à pressão. Somente com dificuldade pode ser quebrado nas mãos. Não quebrável entre o indicador e o polegar; e
- Extremamente dura** - extremamente resistente à pressão. Não pode ser quebrado com as mãos.

Foto de Celina Martins Almodóvar

👉 IBGE (2015)

Para avaliar a consistência do solo úmido a amostra deve estar em um estado de umidade aproximadamente intermediário entre seco ao ar e na capacidade de campo. Também pressionamos a amostra entre o indicador e o polegar. Assim, chegamos a uma das classes abaixo:



- Solta** - não coerente;
- Muito friável** - o material do solo esboroa-se com pressão muito leve, mas agrega-se por compressão posterior;
- Friável** - o material do solo esboroa-se facilmente sob pressão fraca e moderada entre o polegar e o indicador e agrega-se por compressão posterior;
- Firme** - o material do solo esboroa-se sob pressão moderada entre o indicador e o polegar, mas apresenta resistência distintamente perceptível;
- Muito firme** - o material do solo esboroa-se sob forte pressão. Dificilmente esmagável entre o indicador e o polegar; e
- Extremamente firme** - o material do solo somente se esboroa sob pressão muito forte. Não pode ser esmagado entre o indicador e o polegar e deve ser fragmentado pedaço por pedaço.

Foto de Celina Martins Almodóvar

👉 IBGE (2015)



Fotos de Virlei Álvaro de Oliveira



Para avaliar a consistência do solo molhado a amostra deve ser pulverizada e homogeneizada, com conteúdo de água ligeiramente acima ou na capacidade de campo. A amostra escolhida deve ser molhada paulatinamente

e, ao mesmo tempo pressionada ou amassada, com o objetivo de desfazer completamente os agregados. Assim, avaliamos a plasticidade e pegajosidade da amostra.

Quanto à plasticidade as classes são:

**Não plástica** - nenhum fio ou cilindro fino se forma;

**Ligeiramente plástica** - forma-se um fio de 6 mm de diâmetro e não se forma um fio ou cilindro de 4 mm;

**Plástica** - forma-se um fio de 4 mm de diâmetro e não se forma um fio ou cilindro de 2 mm; e

**Muito plástica** - forma-se um fio de 2 mm de diâmetro, que suporta seu próprio peso.



Fotos de Virlei Álvaro de Oliveira

IBGE (2015)



Foto de Virlei Álvaro de Oliveira

Para avaliação de campo da pegajosidade, a massa do solo quando molhada e homogeneizada é comprimida entre o indicador e o polegar, e a aderência é então observada. Os graus de pegajosidade são descritos da seguinte forma:

**Não pegajosa** - após cessar a pressão não se verifica, praticamente, nenhuma aderência da massa ao polegar e/ou indicador;

**Ligeiramente pegajosa** - após cessar a pressão, o material adere a ambos os dedos, mas desprende-se de um deles

perfeitamente. Não há apreciável esticamento ou alongamento quando os dedos são afastados;

**Pegajosa** - após cessar a compressão, o material adere a ambos os dedos e, quando estes são afastados, tende a alongar-se um pouco e romper-se, ao invés de desprender-se de qualquer um dos dedos; e

**Muito pegajosa** - após a compressão, o material adere fortemente a ambos os dedos e alonga-se perceptivelmente quando eles são afastados.

IBGE (2015)

A consistência do solo nos dá informações importantes sobre outras propriedades, como a textura e as possibilidades de manejo. Quanto mais argiloso o solo, maior a expressão das forças de coesão e adesão, ou seja, maior a plasticidade e pegajosidade do solo. É importante observar que solos com altos teores de silte e areia muito fina também apresentam plasticidade, favorecendo os processos de selamento superficial e compactação.











Solos com elevada plasticidade e pegajosidade possuem mais restrições ao preparo mecanizado, devido à maior aderência do solo às máquinas e implementos. Isso resulta em maior gasto energético para a mecanização. Outra restrição é amplitude de umidade do solo para prepará-lo, pois trabalhar esses solos úmidos leva à compactação do solo. Solos com boa friabilidade apresentam boas condições para o preparo, com maior amplitude de umidade do solo.

### 1.10 Estrutura

O conjunto de agregados do solo (popularmente chamado de “torrões do solo”), em seu estado natural, forma a estrutura do solo. Esses agregados possuem tamanhos e formatos variados, e nada mais são que o agrupamento das partículas primárias, ou seja, areia, silte e argila. Em descrições morfológicas no campo descrevemos as macroestruturas dos diferentes horizontes do solo quanto ao grau de desenvolvimento (grau de estrutura), tamanho (classe de estrutura) e forma (tipo de estrutura).

O grau de desenvolvimento é classificado em: 1) sem unidades estruturais ou *peds* – grãos simples (não coerente) e maciça ou massiva (coerente); e 2) fraca, moderada e forte. Os tamanhos vão de muito pequeno a muito grande, com exceção da estrutura prismática que pode chegar a extremamente grande, e a escala depende de cada tipo de estrutura (as escalas podem ser encontradas no *Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo* ou no *Manual Técnico de Pedologia*. Os tipos são classificados de acordo com a forma da estrutura e consistem em granular (granular e grumosa), blocos (angulares e subangulares), prismática (colunar, paralelepípedica e cuneiforme) e laminar.

Na sequência de figuras a seguir vemos representações gráficas dos tipos de estrutura e exemplos de ocorrência de diferentes estruturas em Rondônia.

Com unidades estruturais			Sem unidades estruturais
<b>Granular</b> 	<b>Blocos</b> subangulares      angulares 		<b>Maciça ou massiva</b> 
<b>Grumosa</b> 	<b>Prismática</b> 	<b>Colunar</b> 	<b>Grãos simples</b> 
<b>Laminar</b> 	<b>Cuneiforme</b> 	<b>Paralelepédica</b> 	<p>A ausência de estrutura demonstra o baixo grau de agregação do solo e ocorre em solos muito arenosos, como areias de praia, nos quais a classificação é grãos simples, e em solos muito adensados ou compactados, nos quais a classificação é maciça ou massiva.</p>

IBGE (2015)

Field Book for Describing and Sampling Soils





(Lumbreras et al., 2019)

A existência da estrutura permite a formação de espaços (poros do solo), nos quais se encontra a fração líquida (solução do solo) e a fração gasosa do solo (ar do solo). Além disso, quando há estrutura, as partículas individuais (areia, silte, argila) estão “unidas”, dificultando a perda do solo pelo processo da erosão. Abaixo vemos um esquema representativo da relação do tipo de estrutura do solo com a drenagem de água, mas devemos lembrar que um perfil de solo pode ter mais de um tipo de estrutura e, portanto, a drenagem pode ser variável ao longo do perfil.



Adaptado de Brady e Weil (2002).

## 1.11 Cerosidade

A cerosidade expressa-se como um brilho ceroso, observada principalmente na superfície dos agregados. Sua gênese é relacionada à formação de películas ou filmes de argila e a feições de estresse na face dos *peds*. A cerosidade é, portanto, um testemunho da gênese do solo, podendo indicar a ocorrência passada ou atual de processos de dispersão e floculação e da natureza argilomineral do solo.

Em solos com presença de cerosidade, também podem ocorrer superfícies de compressão ou superfícies de fricção (*slickensides*). As superfícies de compressão são superfícies alisadas originadas pelo movimento da massa de solo, principalmente em solos de textura argilosa ou muito argilosa. Quando esses solos umedecem, o elevado conteúdo de argila causa a expansão da massa de solo, causando atrito entre as partículas e um aspecto lustroso.

As superfícies de fricção (*slickensides*) são similares às superfícies de compressão, porém são formadas em solos que além de textura argilosa ou muito argilosa, possuem argila de atividade. Assim, a expansão da massa de solo, quando úmido, é ainda maior, e ocorre de forma inclinada em relação ao perfil. Tanto as superfícies de compressão, quanto de fricção devem ter seu registro feito no campo das observações na ficha de descrição.

A cerosidade é classificada quanto à quantidade de ocorrência (pouca, comum e abundante) e quanto ao grau de desenvolvimento (fraca, moderada e forte).

Quanto à quantidade de ocorrência, classificamos da seguinte forma:

**Pouca** – quando a proporção de agregados estruturais ou de partículas de areia recobertos por cerosidade é bem inferior à de elementos não recobertos;

**Comum** – quando a proporção de agregados estruturais ou de partículas areia recobertos por cerosidade é equivalente à de elementos não recobertos; e

**Abundante** – quando a proporção de agregados estruturais ou de partículas primárias de areia recobertos por cerosidade é muito superior à de elementos/ agregados não recobertos.

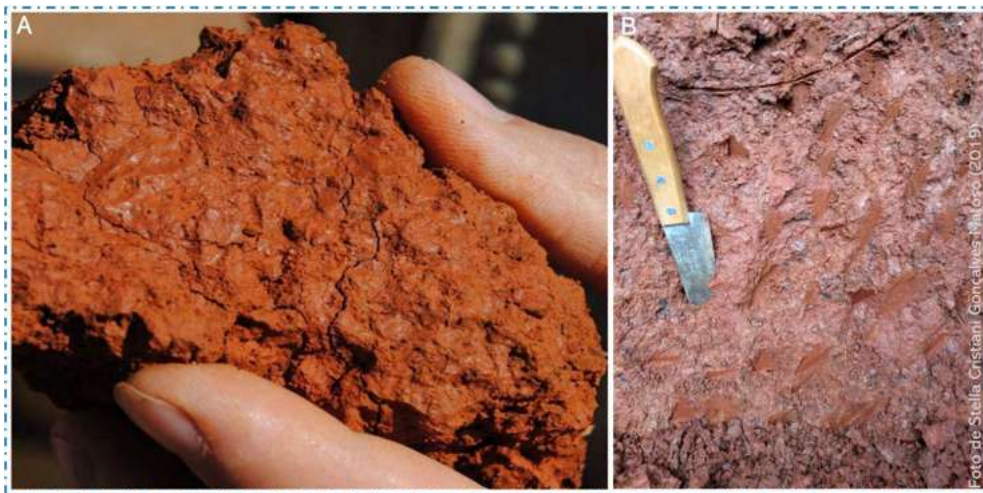
Quanto ao grau de desenvolvimento, classificamos da seguinte forma:

**Fraca** – quando se observa pouca nitidez e com difícil percepção de contraste da cerosidade em relação à cor da matriz do solo. Geralmente só é diagnosticada positivamente com o auxílio de lupa (10 aumentos ou mais);

**Moderada** – quando se observa com boa percepção o contraste entre a cerosidade e a matriz do solo. Geralmente é visível a olho nu; e

**Forte** – quando o contraste e nitidez são perceptíveis a olho nu com grande facilidade.

Nas imagens a seguir vemos exemplos de cerosidade abundante e forte (A) e, à direita, um exemplo de superfícies de compressão brilhosas (B).



👉 @pedologiaufpel

Abaixo, visualizamos exemplos de superfícies de fricção (*slickensides*).



👉 IBGE (2015)

## Porosidade

A porosidade é um atributo morfológico observado pela visão, e pode ser definida como o volume de solo ocupado pela fase líquida e pela fase gasosa do solo. Deve ser avaliada no campo no que se refere ao tamanho e à quantidade de poros presentes em cada horizonte ou camada de solo.

Para descrever os poros utilizamos uma lupa de 10 aumentos e consideramos todos os poros existentes no material, inclusive os poros formados pela atividade biológica (animais e raízes), como podemos ver na imagem a seguir.

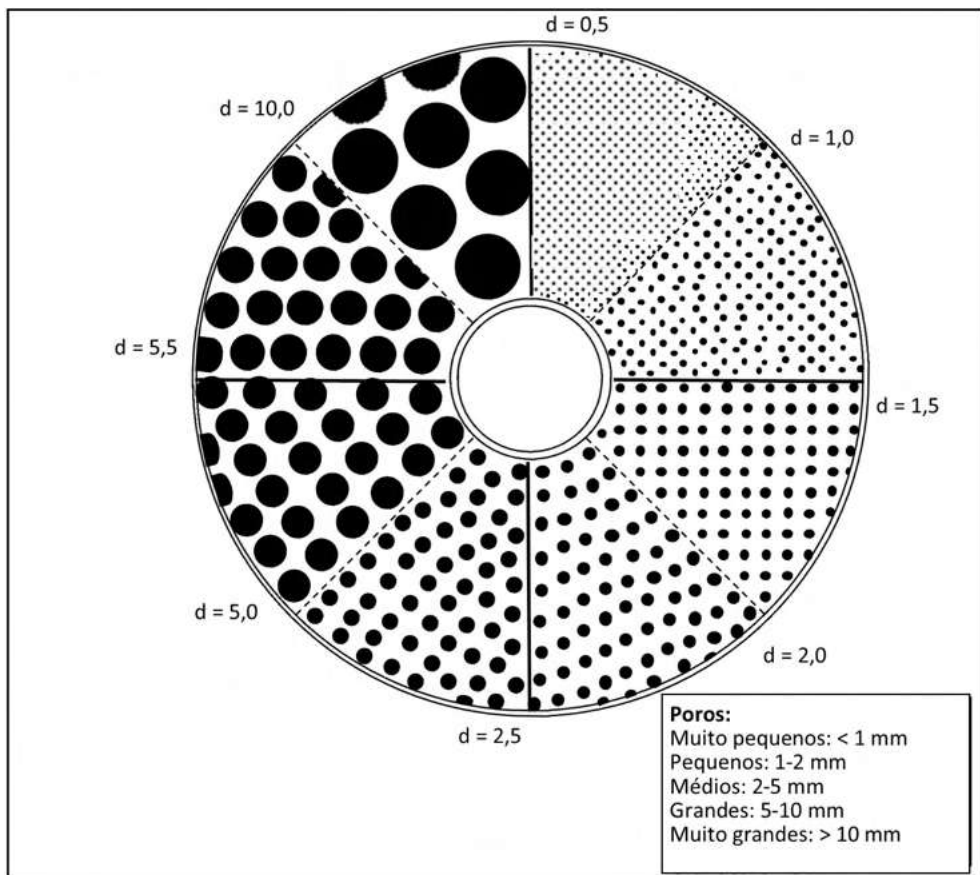


👉@solo.fertil

Quanto ao tamanho, usamos a seguinte classificação:

<b>Sem poros visíveis</b>	Não apresenta poros visíveis, mesmo com lupa de 10 x
<b>Muitos Pequenos</b>	Inferiores a 1 mm de diâmetro
<b>Pequenos</b>	De 1 a 2 mm de diâmetro
<b>Médios</b>	De 2 a 5 mm de diâmetro
<b>Grandes</b>	De 5 a 10 mm de diâmetro
<b>Muito grandes</b>	Superiores a 10 mm de diâmetro

O disco a seguir pode facilitar o trabalho de determinação do tamanho de poros no campo.



Adaptado de Soil Survey Staff (1993).

A quantidade de poros pode ser medida por unidade de área, sendo que esta unidade varia de acordo com o tamanho dos poros, conforme o quadro a seguir:

Tamanho dos poros	Unidade de área (U.A.)
Muito pequenos	1 cm <sup>2</sup> (1x1 cm)
Pequenos	1 cm <sup>2</sup> (1x1 cm)
Médios	1 dm <sup>2</sup> (10x10 cm)
Grandes	1 dm <sup>2</sup> (10x10 cm)
Muito grandes	1 m <sup>2</sup> (100x100 cm)

Após determinarmos o tamanho dos poros e a unidade de área correspondente, classificamos a quantidade de poros, conforme o quadro abaixo:

Classificação	Quantidade de poros
Poucos	Menos de 1 por U.A.
Comuns	De 1 a 5 por U.A.
Abundantes	Mais de 5 por U.A.



IBGE (2015)

A porosidade dos solos é importante para o armazenamento e movimento da solução do solo (fase líquida) e do ar do solo (fase gasosa) e para o desenvolvimento das raízes das plantas.

A compactação dos solos apresenta, como efeito direto, a redução da porosidade, diminuindo a infiltração de água e a penetração de oxigênio. Um exemplo típico de compactação são as ruas de terra (urbanas ou rurais), as quais apresentam elevada compactação devido ao tráfego de pessoas, veículos ou animais, não permitindo a infiltração da água da chuva e favorecendo o escoamento da enxurrada e a erosão.

## 1.12 Raízes

A presença de raízes nos horizontes ou camadas de solo também é descrita, pois traz informações importantes acerca dos limitantes físicos e químicos à penetração e desenvolvimento das raízes.

É descrita a quantidade e o tamanho das raízes nos diferentes horizontes ou camadas de solo. Essa descrição é similar à dos poros. Primeiro determinamos o tamanho (diâmetro) das raízes conforme o quadro a seguir:

Muitos finas	Inferiores a 1 mm de diâmetro
Finas	De 1 a 2 mm de diâmetro
Médias	De 2 a 5 mm de diâmetro
Grossas	De 5 a 10 mm de diâmetro
Muito grossas	Superiores a 10 mm de diâmetro

Em seguida, verificamos a unidade de área a ser utilizada, de acordo com a classe de tamanho das raízes, conforme o quadro a seguir:

Tamanho das raízes	Unidade de área (U.A.)
Muito finas	1 cm <sup>2</sup> (1x1 cm)
Finas	1 cm <sup>2</sup> (1x1 cm)
Médias	1 dm <sup>2</sup> (10x10 cm)
Grossas	1 dm <sup>2</sup> (10x10 cm)
Muito grossas	1 m <sup>2</sup> (100x100 cm)

Após, classificamos a quantidade de raízes, conforme o quadro abaixo:

Classificação	Quantidade de poros
Poucas	Menos de 1 por U.A.
Comuns	De 1 a 5 por U.A.
Abundantes	Mais de 5 por U.A.

A presença de raízes em horizontes ou camadas profundas demonstra que não há impedimentos químicos, como toxidez por alumínio, ou físicos, como camadas compactadas de solo.

**Importante:** os atributos morfológicos tratados acima (desde a profundidade e espessura dos horizontes ou camadas de solo até a presença de raízes) são indispensáveis em uma descrição morfológica. Mas existem casos mais particulares que podem ocorrer em diferentes perfis, que são tratados como atributos morfológicos de ocorrência ocasional, e que devem ser descritos no campo das observações na ficha de descrição. Na sequência vamos estudar esses atributos, que são: cimentação, coesão, nódulos e concreções minerais, presença de carbonatos, manganês e sulfetos.

### 1.13 Cimentação

A cimentação é uma forma de agregação das partículas do solo por agentes cimentantes que não sejam minerais de argila, como carbonato de cálcio, sílica, óxidos ou sais de ferro e de alumínio etc. O material do solo fica duro e quebradiço e é muito pouco ou nada alterado pelo umedecimento.

O grau de cimentação detectado deve ser descrito conforme segue:

**Fracamente cimentado** – a massa de solo cimentada é quebradiça, tenaz ou dura, mas pode ser quebrada com as mãos;

**Fortemente cimentado** – a massa cimentada é quebradiça e mais dura e, portanto, não é possível quebrá-la com as mãos, porém é facilmente quebrada com a utilização de um martelo; e

**Extremamente cimentado** – a massa cimentada é quebradiça, não enfraquece sob prolongado umedecimento (aproximadamente 2 h), é extremamente dura e para quebrá-la é necessário um golpe vigoroso com o martelo.

A cimentação pode ser tanto contínua como descontínua dentro de um determinado horizonte e pode culminar na formação dos horizontes fragipã ou duripã. Dependendo da sua profundidade de ocorrência pode impedir o desenvolvimento das raízes das plantas e os processos de infiltração de água e aeração do solo, como podemos ver na figura a seguir.



Foto de Stella Cristiani Gonçalves Matoso (2011)

Na imagem ao lado vemos óxidos de ferro desidratados formando concreções, também chamadas lateritas ou ferricretes.

Esse é um perfil de Plintossolo Pétrico Litoplântico típico localizado no município de Vilhena, RO.

Como o horizonte cimentado está na superfície ocorre o impedimento à penetração das raízes, infiltração de água e aeração do solo.

#### 1.14 Coesão

É uma característica observada em campo pela dureza (duro, muito duro ou extremamente duro) de horizontes subsuperficiais quando secos e friabilidade (friável a firme), quando úmidos.

Podem ser descritos dois graus de coesão em campo:

**Moderadamente coeso** – material resistente à penetração de faca, martelo pedológico e trado. Consistência dura quando seco e friável a firme quando úmido;

**Fortemente coeso** – o material resiste fortemente à penetração de faca, martelo pedológico e trado. Consistência muito dura a extremamente dura quando seco e friável a firme quando úmido.

A coesão é comumente presente na parte superior dos horizontes B de Latossolos e Argissolos Amarelos dos tabuleiros costeiros da Formação Barreiras, porém há indícios que podem ocorrer também em solos dos Tabuleiros da Amazônia Centro-Occidental, que se encontram no sul do Amazonas e ao norte de Rondônia.

#### 1.15 Nódulos e concreções minerais

São corpos cimentados diferentes da matriz do solo e que podem ser facilmente destacados do perfil. Os nódulos não possuem organização interna. Já as concreções são desenvolvidas em torno de um ponto, de forma concêntrica.

Na descrição de campo, devem-se considerar diversos aspectos dos nódulos ou

concreções, como quantidade, tamanho, dureza, forma, cor e natureza.

Quantidade	
Muito pouco	menos que 5% do volume presente na massa do solo
Pouco	5 a < 15% do volume presente na massa do solo
Frequente	15 a < 40% do volume presente na massa do solo
Muito frequente	40 a < 80% do volume presente na massa do solo
Dominante	mais que 80% do volume presente na massa do solo
Tamanho	
Pequeno	menor que 1 cm de diâmetro (menor dimensão)
Grande	maior que 1 cm de diâmetro (maior dimensão)
Dureza	
Macio	pode ser quebrado entre o polegar e o indicador
Duro	não pode ser quebrado entre os dedos

Quanto à forma, classificamos os nódulos e concreções em esférica, irregular e angular. Quanto à cor, não é necessária a descrição do matiz, valor e croma; usamos termos simples, como: preto, vermelho, branco etc. Quanto à natureza, descrevemos a possível composição dos nódulos ou concreções, como concreções ou nódulos carbonáticos, ferruginosos, manganesianos etc.



👉 Anjos et al. (2013)

### *Presença de carbonatos*

É detectada em campo pelo grau de efervescência da superfície do material quando em contato com um pequeno volume de ácido clorídrico (HCl) a 10%. Classificamos em:

**Ligeira** – efervescência fraca, bolhas visíveis;

**Forte** – efervescência visível, bolhas formando espuma na superfície; e

**Muito forte** – efervescência forte, a espuma é rapidamente formada.

A presença de carbonatos, geralmente, é evidenciada por ocorrência de nódulos, concreções ou mosqueados esbranquiçados. Ocorre, frequentemente, em regiões de material de origem calcário. Abaixo temos um exemplo da efervescência de concreções de carbonato de cálcio.



Em Rondônia não é comum a presença de carbonatos, devido ao clima quente e úmido atual. Porém, podem ocorrer carbonatos nos horizontes ou camadas mais profundas de solos das regiões de material de origem calcário, como em Pimenta Bueno e Espigão do Oeste.

### *Presença de manganês*

É detectado em campo pelo grau de efervescência da superfície do material quando em contato com um pequeno volume de peróxido de hidrogênio de 20 volumes. Classificamos em:

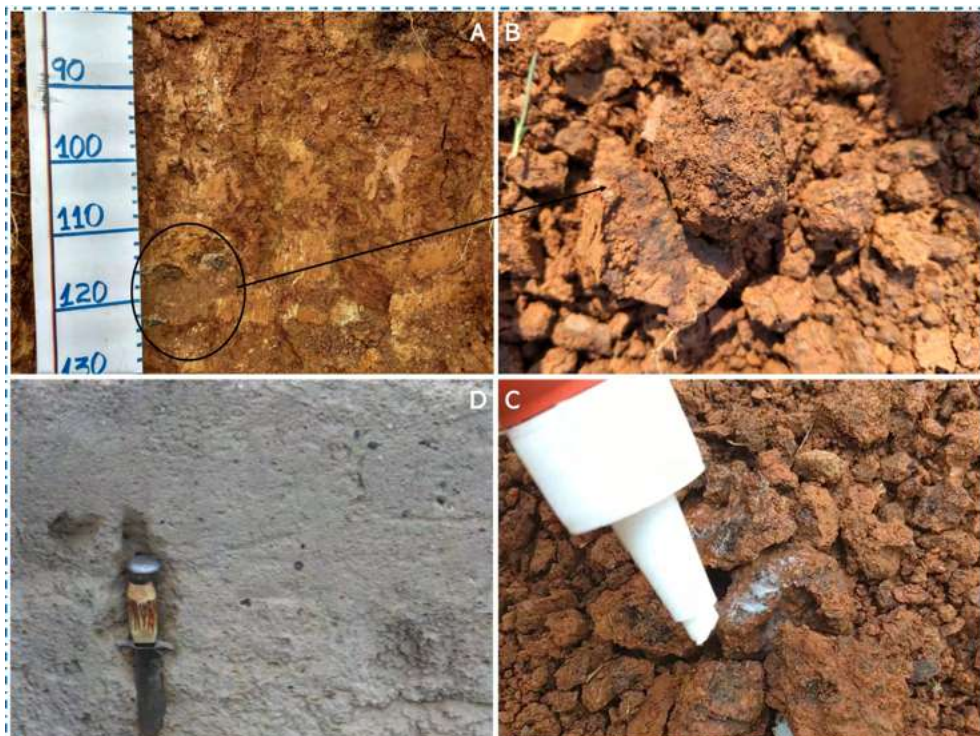
**Ligeira** – efervescência fraca, somente ouvida;

**Forte** – efervescência visível, sem ruptura dos agregados; e

**Muito forte** – efervescência forte, causando muitas vezes ruptura dos agregados.

A presença de manganês é evidenciada pela ocorrência de nódulos, concreções ou mosqueados escuros e enegrecidos. Comumente, está associada a perfis com restrição de drenagem e/ou sob a influência da oscilação do lençol freático. Nesse ambiente, assim como acontece com o ferro, ocorre a mobilização do manganês, sua oxidação e

acúmulo em determinados pontos. Porém, em regiões onde o material de origem é rico em manganês, como é o caso da formação Complexo Colorado, podem ocorrer mosqueados manganesianos nos horizontes B/C e C como herança do material de origem, e que podemos ver nas figuras.



A: horizonte C de um Argissolo Vermelho Eutrófico cambissólico contendo óxidos de manganês; B: agregados do horizonte com óxidos de manganês; C: teste com peróxido de hidrogênio (20 volumes), demonstrando a presença de manganês com reação muito forte; e D) perfil de um Argissolo Acinzentado Distrófico endoáquico com concreções de óxidos de manganês (pontos pretos) formadas em ambiente redox. Obs. Ambos os perfis são de Colorado do Oeste, RO.

### 1.16 Presença de minerais magnéticos

Existem óxidos de ferro que possuem caráter magnético, como maghemita e magnetita. Essa característica é testada no campo usando um ímã sobre a amostra de solo (amostra esboroada até o tamanho da fração areia). A avaliação é feita em relação à quantidade de grãos atraídos pelo ímã, conforme especificação abaixo:

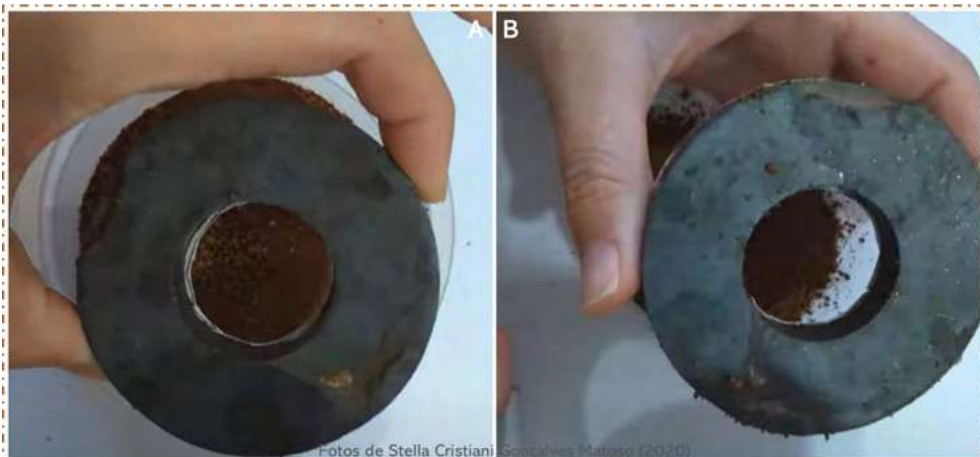
**Forte** – a maior parte da amostra é atraída pelo ímã;

**Moderada** – menos que a metade da amostra é atraída pelo ímã; e

**Fraca** – apenas alguns grãos são atraídos pelo ímã.

Obs.: Se não houver nenhuma atração, não é necessário especificar.

Abaixo vemos um exemplo do teste para a presença de minerais magnéticos.



A: ímã utilizado para o teste; B: ímã após passar em cima da amostra de solo, com poucos grãos atraídos, demonstrando a presença de materiais magnéticos, porém com pouca expressão.

Os minerais magnéticos são comuns em solos vermelhos originados de materiais derivados de rochas básicas, com alto conteúdo de ferro (rochas escuras). Em Rondônia, esse tipo de rocha ocorre principalmente nos municípios de Colorado do Oeste, Chupinguaia, Alta Floresta do Oeste e Nova Brasilândia do Oeste. Os minerais magnéticos também podem ser formados pela ação do fogo, pois outros óxidos de ferro, como hematita e goethita podem ser transformados em óxidos magnéticos, devido ao aquecimento na presença de matéria orgânica.

A constatação de minerais magnéticos apenas nos horizontes ou camadas superficiais dos perfis indica a provável influência das queimadas, por outro lado, se a ocorrência for registrada também nos horizontes subsuperficiais demonstra a formação devido ao intemperismo do material de origem.

## 2 . SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) é o sistema taxonômico oficial de classificação de solos do Brasil. É uma prioridade nacional compartilhada com várias instituições de ensino e pesquisas nacionais desde a primeira tentativa de organização, isso aconteceu após a década de 1970, com base em aproximações sucessivas, tentando definir um sistema hierárquico, multicategórico e aberto, isso permite que novas classes sejam incluídas e assim, classificar todos os solos existentes no território nacional.

O SiBCS, lançado em 2018, está na sua quinta edição e é um projeto nacional da comunidade de Ciência do Solo, coordenado pela Embrapa Solos. A cada nova edição, busca-se consolidar a sistematização taxonômica que expresse o conhecimento para a discriminação de classes de solos identificadas no País.

Por que é importante classificar os solos? Classificar os solos é de grande importância para melhor manejá-los pela otimização da aplicação de práticas agronômicas sustentáveis, bem como, para executar o planejamento de uso das terras por meio de zoneamentos e, portanto, a classificação dos solos é indispensável para a definição de políticas públicas.

Esta última edição do SiBCS foi pautada nos conhecimentos e pesquisas geradas no país e no exterior, assim como a Base de Referência Mundial para Recursos de Solos, conhecida pela sigla WRB (*World Reference Base for Soil Resources*), a qual tem por finalidade servir de denominador comum entre os sistemas de classificação existentes, não os substituindo, mas sim os harmonizando.

O SiBCS classifica os solos em níveis categóricos de ordem, subordem, grande grupo, subgrupo, família e série. Estes dois últimos níveis são os mais recentes e não estão totalmente consolidados. É comum usar apenas os primeiros quatro níveis categóricos para nominar os solos em publicações científicas, técnicas e mapas. Vejamos os exemplos a seguir!

### Exemplo de solo classificado em quatro níveis categóricos



### Exemplo de solo classificado em seis níveis categóricos

Argissolo Vermelho Eutrófico cambissólico, **textura média/argilosa, A moderado, caulinitico, Tb, mesoférrico, fase floresta equatorial subperenifolia, relevo suave ondulado.**

família

série

É importante, portanto, compreender a que se refere cada nível categórico do SiBCS:

1º nível categórico (Ordem) – as ordens de solos são diferenciadas principalmente pela sua morfologia, que indica os efeitos (sinais) dos processos de formação do solo que foram dominantes na sua gênese e que reflete a natureza do meio ambiente no qual o solo se formou. Por exemplo, as ordens dos Argissolos e Luvisolos indicam que o solo passou pelo processo pedogenético específico de argiluviação.

2º nível categórico (Subordem) – é classificada com base nos atributos diagnósticos que demonstram a atuação de outros processos de formação de solo que agiram em conjunto ou que afetaram os processos dominantes já utilizados para determinar a ordem; ou que se referem a atributos diagnósticos extremamente importantes para o desenvolvimento das plantas e/ou para usos não agrícolas. Por exemplo, os Argissolos Vermelhos foram formados de material de origem rico em ferro e condições de boa drenagem.

3º nível categórico (Grupo) – essas classes são separadas por 1) tipo e arranjo dos horizontes; 2) atividade da fração argila, condição de saturação do complexo sortivo por bases, por alumínio ou por sódio e/ou presença de sais solúveis; e/ou 3) presença de horizontes ou propriedades que restringem o desenvolvimento das raízes e afetam o livre movimento da água no solo. Por exemplo, os Argissolos Vermelhos Ta Alumínicos apresentam argila de atividade alta conjugada com elevado teor de alumínio trocável e alta saturação por alumínio.

4º nível categórico (subgrupo) – essas classes refletem se o solo é típico (indica que os três primeiros níveis categóricos já refletem todas as características relevantes do solo e podem ser atribuídos a qualquer ordem de solo), intermediário ou transicional (solos que possuem propriedades intermediárias para outras classes) e extraordinário (propriedades que não são representativas do grande grupo, mas não indicam transição para outra classe). Por exemplo, os Argissolos Vermelhos Ta


Alumínicos luvisólicos abruptos possuem teor de saturação por bases próximos do limite de 50%, demonstrando propriedades intermediárias com os Luvisolos e mudança textural abrupta (um considerável aumento no teor de argila em distância  $\leq 7,5$  cm na zona de transição entre o horizonte A ou E e o horizonte subjacente B).

Dominar todos os detalhes do SiBCS é uma tarefa difícil e, talvez, desnecessária para um Técnico da área de Ciências Agrárias, sendo imprescindível para Pedólogos e profissionais que trabalham diretamente com a taxonomia de solos. Para um técnico, consideramos importante conhecer as 13 ordens de solos que ocorrem no Brasil, suas características e algumas outras classes de solos.

## 2.1 Ordens de solos brasileiros

O Brasil possui uma grande diversidade de solos em sua extensão continental, decorrente da ampla diversidade de pedoambientes e de fatores de formação do solo. Nas 13 ordens de solos contidas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), constata-se a influência desses fatores através da grande variabilidade das características químicas, físicas e morfológicas.

A ampla peculiaridade observada nos pedoambientes também representa uma condição importante para a avaliação dos potenciais e limitações de cada solo, condicionando a sua sustentabilidade em função dos usos e das práticas de manejo aplicadas.

As 13 ordens de solos representativas das paisagens brasileiras são: Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos, Latossolos, Luvisolos, Neossolos, Nitossolos, Organossolos, Planossolos, Plintossolos e Vertissolos. A seguir, vamos falar desse tema e usaremos termos ainda não tratados neste livro, que se referem aos atributos diagnósticos e aos horizontes diagnósticos do solo. Porém, como não é o objetivo nos aprofundar nos detalhes da taxonomia, recomendamos que quando haja dúvidas ou para um estudo aprofundado, o leitor recorra ao SiBCS disponível em formato  *ebook*.

### *Argissolos*

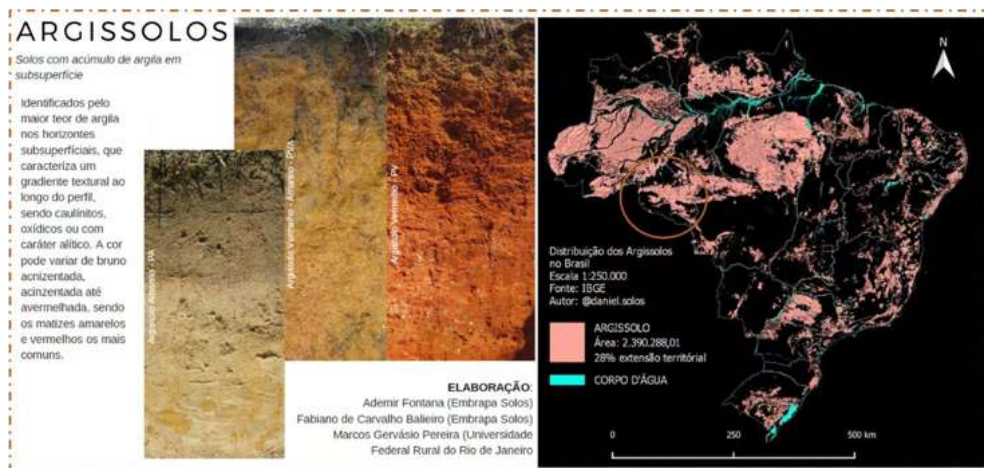
São solos minerais de elevado grau de intemperismo, que apresentam horizonte B textural. Logo, possuem acúmulo de argila no horizonte B, ou seja, o horizonte mais superficial do solo (horizonte A) possui mais areia que o horizonte subsuperficial (horizonte B). Essa característica é chamada de gradiente textural.

Existem outras ordens de solos que também possuem gradiente textural, como os Luvisolos, Planossolos e, em alguns casos, os Nitossolos. Portanto, além do gradiente textural os Argissolos devem apresentar indicadores de elevado grau de intemperismo,

como a presença de argila de baixa atividade ( $< 27 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ ), ou argila de alta atividade ( $\geq 27 \text{ cmol}_c/\text{kg}$ ) associada ao alto teor e saturação de alumínio (teor de alumínio extraível  $\geq 4 \text{ cmol}_c/\text{kg}$  de solo, saturação por alumínio  $\geq 50\%$  e/ou saturação por bases  $< 50\%$ ).

As cores definem o segundo nível categórico dos Argissolos e são muito variáveis, podendo ser bruno-acinzentados, acinzentados, amarelos, vermelhos e vermelhos amarelos.

Normalmente, os Argissolos apresentam reduzida capacidade de reter nutrientes para as plantas e, devido ao gradiente textural, apresentam elevado risco de erosão, devido à rápida infiltração de água no horizonte A, que diminui de velocidade no horizonte B, causando o movimento de água no sentido horizontal que arrasta as partículas de solo. Quando associados a relevos declivosos (o que geralmente acontece) são ainda mais suscetíveis à erosão.



👉 Embrapa Solos

👉 @daniel.solos

Como vemos no mapa, esses solos são muito comuns em todo o Brasil, bem como, em Rondônia. Aproxime a sua tela e observe o mapa! Aproveite e analise os exemplos de perfis de solos dessa ordem!

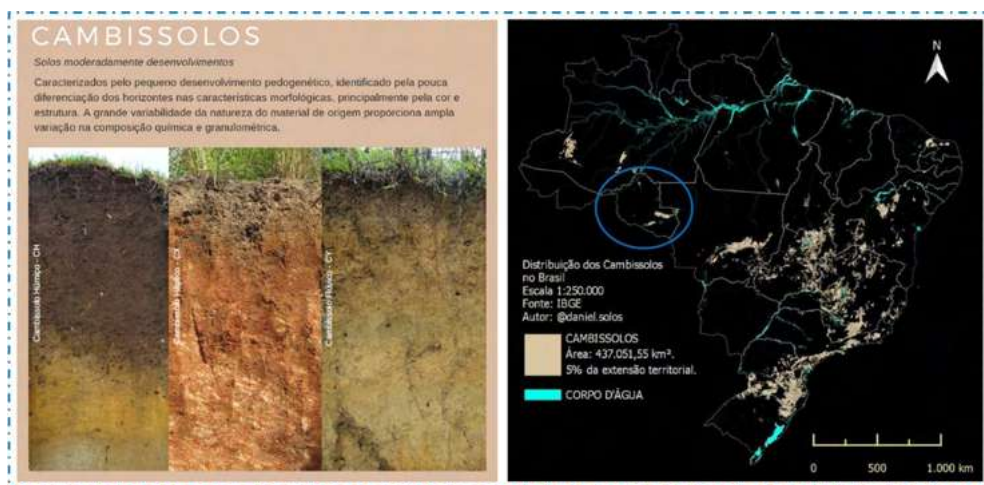
### *Cambissolos*

O nome Cambissolo vem da palavra câmbio, que significa mudança. Portanto, são solos que estão em fase de transição. São solos mais evoluídos que os Neossolos, pois já possuem horizonte B e menos evoluídos que as demais ordens. São solos que apresentam

horizonte B incipiente, ou seja, que ainda estão em estágio inicial de formação. O horizonte B incipiente é caracterizado por uma ou mais das seguintes características: pouco espesso, presença de minerais alteráveis, similaridade com a estrutura da rocha matriz e baixa relação silte/argila.

É uma ordem de solo muito diversa, de ocorrência em todo território nacional. A sua aptidão agrícola depende de outros fatores, como material de origem, relevo e clima de ocorrência. Assim, apresentam maior restrição ao cultivo agrícola quando são derivados de materiais de origem ácidos, se encontram em relevo muito acidentado, são rasos e/ou possuem elevada pedregosidade. Desse modo, dificultam tanto a mecanização, quanto o desenvolvimento do sistema radicular.

Esses solos são comuns no Brasil e possuem representatividade em Rondônia. Aproxime a sua tela e observe o mapa a seguir! Aproveite e analise os exemplos de perfis de solos dessa ordem!



👉 Embrapa Solos

👉 @daniel.solos

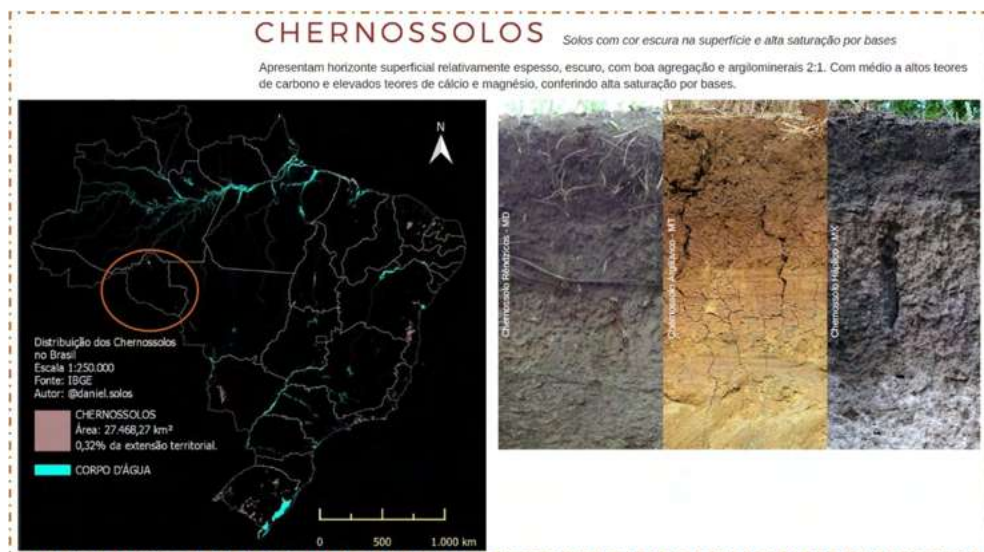
## *Chernossolos*

Os chernossolos são solos minerais que possuem o horizonte A chernozêmico seguido de horizonte B incipiente ou B textural, ambos com argila de atividade alta e saturação por bases alta; ou horizontes subsuperficiais cálcicos, petrocálcicos ou carbonáticos.

Esses solos geralmente são formados sobre material de origem rico em cálcio e magnésio, o que facilita o acúmulo de matéria orgânica e a formação do horizonte A chernozêmico. As características marcantes desses solos é o elevado teor de matéria

orgânica (conteúdo de carbono orgânico > 6 g/kg), alta saturação por bases (> 65%) com predomínio dos íons cálcio e magnésio e estrutura de grau moderado a forte. Devido a essas características, os Chernossolos são solos muito férteis com boa aptidão agrícola.

Esses solos são comuns na região sul do Brasil e possuem pouca representatividade em Rondônia, mas há registros na região Cone Sul. Aproxime a sua tela e observe o mapa a seguir! Aproveite e analise os exemplos de perfis de solos dessa ordem!



👉 @daniel.solos

👉 Embrapa Solos

### *Espodossolos*

São solos minerais que possuem horizonte diagnóstico B espódico abaixo de um horizonte E, A ou hístico. O horizonte B espódico se forma pelo processo pedogenético específico de podzolização, no qual compostos orgânicos se ligam ao ferro, alumínio e sílica (quelação) dos minerais da fração argila, tornando-os móveis. Em seguida, esses compostos, agora organominerais, se mobilizam e se acumulam nas camadas mais profundas do solo.

Essa ordem de solos caracteriza-se, portanto, por um horizonte superficial claro e de textura arenosa seguido de um horizonte escuro, muitas vezes cimentado, de textura média ou silteosa e raramente argilosa. Em geral, são solos moderados a fortemente ácidos, com saturação por bases baixas (distróficos), podendo ocorrer altos teores de alumínio extraível. Necessitam, portanto, de correção de acidez e adubação para poderem ser cultivados. Se o horizonte B espódico estiver muito raso podem apresentar problemas de infiltração de

água e propensão à erosão.

Esses solos também são mais comuns na região sul do Brasil. Em Rondônia possuem pouca representatividade, mas há registros em algumas zonas sedimentares do estado. Aproxime a sua tela e observe o mapa a seguir! Aproveite e analise os exemplos de perfis de solos dessa ordem!



[@daniel.solos](#)

[Embrapa Solos](#)

## Gleissolos

São solos hidromórficos que, devido ao excesso de água, apresentam horizonte de subsuperfície (B ou C) de cor acinzentada, pois nessas condições o ferro passa de uma condição oxidada para a forma reduzida. Esse horizonte acinzentado é chamado de horizonte glei.

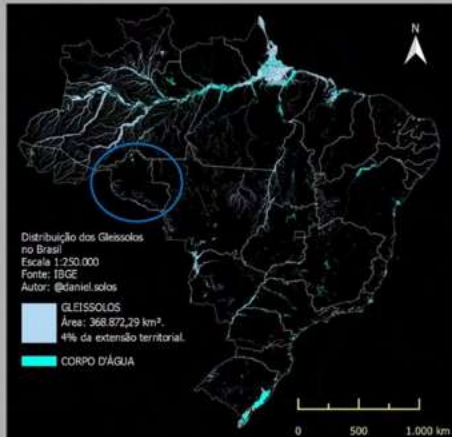
Uma vez drenados (retirada do excesso de água por meio de valetas ou canais), podem ser utilizados com agricultura. Geralmente são solos de baixa fertilidade química, o que implica na necessidade de emprego de adubos e corretivos.

Esses solos são comuns no Brasil, bem como, em Rondônia, principalmente nas áreas inundáveis, próximas aos grandes rios. Aproxime a sua tela e observe o mapa a seguir! Aproveite e analise os exemplos de perfis de solos dessa ordem!

# GLEISSOLOS

Solos com expressão de feições redutomórficas:

Caracterizados pelo baixo grau de desenvolvimento pedogenético sob condições hidromórficas. As cores predominantes em subsuperfície são acinzentadas ou variegadas, devido aos processos de oxidação e redução do ferro, podendo apresentar mosqueados ou plintita pela segregação do ferro.



[@daniel.solos](#)

[Embrapa Solos](#)

## Latossolos

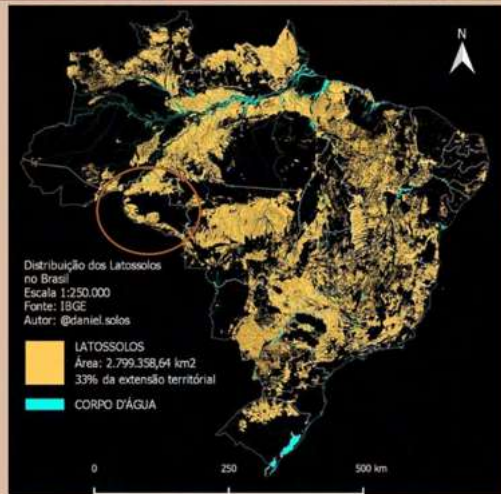
São solos minerais que apresentam horizonte B latossólico abaixo de qualquer horizonte A, com pouco ou nenhum gradiente textural. Caracterizam-se pelo elevado grau de intemperismo (muito alterados em relação ao material de origem), profundos (1 a 2 m) ou muito profundos (mais de 2 m) e de baixa fertilidade, devido à intensa transformação dos minerais. As cores são muito variadas (bruno, amarelo, vermelho e vermelho amarelo) e identificam a subordem desses solos.

Ocupam, usualmente, relevos planos e de forma geral, são muito porosos, permeáveis, com boa drenagem (não têm problemas de excesso de água). Essas características somadas à boa profundidade e à ausência de pedras, fazem com que tenham boa aptidão para o cultivo mecanizado. Por outro lado, seu elevado grau de intemperismo condiciona baixa fertilidade química, sendo necessárias práticas de adubação e correção do solo para elevar seu potencial produtivo.

# LATOSSOLOS

Solos lixiviados e altamente desenvolvidos

São altamente intemperizados e ausência de incremento de argila em profundidade. As cores variam de brunadas, avermelhadas ou amareladas, sendo as últimas de maior expressão. Os minerais predominantes na fração argila são a caulinita e óxidos de ferro e alumínio, propiciando valor da capacidade de troca catiônica menor ou igual a 17 cmolc kg<sup>-1</sup>.



📍 @daniel.solos

📍 Embrapa Solos

Como vemos no mapa, esses solos são muito comuns em todo o Brasil, bem como, em Rondônia. Aproxime a sua tela e observe o mapa! Aproveite e analise os exemplos de perfis de solos dessa ordem!

## Luvissolos

São solos minerais que possuem, abaixo de qualquer horizonte A ou E, horizonte diagnóstico B textural com baixo grau de intemperismo, caracterizado pela alta atividade da fração argila ( $\geq 27$  cmol<sub>c</sub>/kg) e alta saturação por bases ( $\geq 50\%$ ). Essas características do horizonte B textural diferem os Luvissolos dos Argissolos.

Os solos dessa ordem possuem estrutura bem desenvolvida e alta fertilidade química natural. Não são solos muito profundos, e podem apresentar pedregosidade na superfície, o que também pode limitar a mecanização. Assim, são solos quimicamente favoráveis ao cultivo, mas que podem apresentar limitações físicas.

## LUVISSOLOS

*Solos com acúmulo de argila em subsuperfície associado à argila de atividade alta*

Identificados pelo aumento significativo dos teores de argila em subsuperfície, apresentando em muitos casos mudança textural abrupta. De maneira geral são rasos, de coloração avermelhada ou amarelada, com estrutura do tipo blocos ou prismas em subsuperfície. Apresentam elevada capacidade de troca catiônica (maior ou igual a 27 cmolc kg<sup>-1</sup>) e alta saturação por bases.



Distribuição dos Luvissolos no Brasil  
Escala 1:250.000  
Fonte: IBGE  
Autor: @daniel.solos

LUVISSOLOS  
Área: 238.409,67 km<sup>2</sup>.  
3% da área territorial.

CORPO D'ÁGUA

👉 Embrapa Solos

👉 @daniel.solos

Esses solos são mais comuns na região nordeste do Brasil, devido ao clima seco atual. Na região amazônica se destacam na Formação Solimões, que abrange o estado do Acre e o sul do Amazonas. Em Rondônia, se limitam a região Cone Sul, devido ao material de origem máfico e ultramáfico. Aproxime a sua tela e observe o mapa! Aproveite e analise os exemplos de perfis de solos dessa ordem!

### Neossolos

São solos rasos em estágio inicial de evolução, apresentando mais comumente apenas horizonte A sobre o horizonte C ou sobre a rocha de origem (camada R). Esses solos são tão “jovens” que não têm horizonte B.

Os Neossolos podem apresentar baixo grau de intemperismo por algumas razões,

que são expressas na subordem. Assim, quando tratamos desses solos é importante conhecer as características dos dois primeiros níveis categóricos, ordem e subordem.

Os Neossolos que apresentam pouca espessura, por estarem na fase inicial do intemperismo, geralmente possuem um horizonte A sobre um horizonte C raso ou diretamente sobre a rocha. Esses solos são chamados Neossolos Litólicos. Em climas quentes e úmidos, como os de Rondônia, esses solos são comuns nas regiões de relevo acidentado, situando-se nas encostas, devido à frequente erosão e exposição do material de origem. É comum ver esse tipo de solos nos municípios de Colorado do Oeste, Alta Floresta do Oeste, Alto Alegre dos Parecis, Nova Brasilândia do Oeste etc.

Há solos que já apresentam um grau de intemperismo maior que o dos Neossolos Litólicos, porém ainda são menos intemperizados que as demais ordens de solos. Podem apresentar um horizonte B em fase inicial de formação, mas que ainda não se desenvolveu o suficiente para ser um horizonte B incipiente ou outro horizonte B diagnóstico. Dentro dos primeiros 150 cm de profundidade, apresentam em algum ponto mais de 4% de minerais primários alteráveis e/ou possuem parte do horizonte C, apresentando fragmentos de rocha e/ou restos da estrutura orientada da rocha que originou o solo. Esses solos são classificados Neossolos Regolíticos.

Existem solos que são constantemente “jovens” devido à constante deposição de sedimentos. Quando isso ocorre dizemos que o solo passou por um novo tempo zero, e os processos pedogenéticos começam a atuar sob as novas condições impostas. Essa situação é comum em solos próximos à cursos d’água, onde ocorre a deposição de sedimentos fluviais. Assim, esses solos são classificados como Neossolos Flúvicos.

Outra classificação é dos Neossolos Quartzarênicos, que são solos pouco evoluídos devido à resistência do material de origem ao intemperismo químico. Como o próprio nome sugere, o material de origem é composto essencialmente por quartzo. Assim, esses solos evoluem fisicamente e suas partículas atingem o tamanho da fração areia e não evoluem para a fração silte ou argila. Logo, são solos de textura areia ou areia franca, que podem chegar a ser muito profundos.

Observamos, portanto, que os solos da ordem dos Neossolos são todos de baixo grau de intemperismo, porém, possuem características bastante variáveis, sendo importante conhecer as suas subordens. Em alguns casos, em função da rocha de origem, os Neossolos Litólicos e os Neossolos Regolíticos podem ter boa fertilidade química natural, porém podem apresentar impedimentos físicos ao cultivo. Os Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos são solos frágeis, que deveriam ser preferencialmente utilizados para preservação da flora e fauna, embora seja comum seu uso com pastagens

ou reflorestamentos, principalmente por parte de pequenos proprietários rurais.



[@daniel.solos](#)

[Embrapa Solos](#)

Como vemos no mapa, esses solos são muito comuns em todo o Brasil. Aproxime a sua tela e observe o mapa! Aproveite e analise os exemplos de perfis de solos dessa ordem! Em Rondônia, há uma grande faixa de Neossolos Quartzarênicos que se estende nos Municípios de Vilhena, Corumbiara, Chupinguaia e Pimenta Bueno.

### *Nitossolos*

São solos minerais que possuem um horizonte B nítico abaixo de qualquer horizonte A, com pequeno ou nenhum gradiente textural. Apresentam textura argilosa ou muito argilosa (350 g/kg ou mais de argila) desde o horizonte A. Possuem elevado grau de intemperismo, caracterizado pela presença de argila de baixa atividade (< 27 cmol<sub>c</sub>/kg), ou argila de alta atividade (≥ 27 cmol<sub>c</sub>/kg) associada ao alto teor e saturação de alumínio (teor de alumínio extraível ≥ 4 cmol<sub>c</sub>/kg de solo, saturação por alumínio ≥ 50% e/ou saturação por bases < 50%).

Outra característica marcante dos Nitossolos é a boa estruturação do horizonte B, com grau de desenvolvimento moderado ou forte e comumente do tipo prismática e

blocos. A cerosidade também está presente, em quantidade e grau de desenvolvimento no mínimo comum e moderado. A cor varia de bruno a vermelha, com pouca variação entre os horizontes e identifica a subordem desses solos.

Esses solos ocorrem em diversos ambientes climáticos, estando associados às áreas de relevos desde suave ondulado a forte ondulado. Assim, apesar de serem solos profundos, com boas condições de drenagem e elevada retenção e disponibilidade de água, podem possuir impedimentos ao cultivo devido à condição de relevo, que pode dificultar a mecanização e favorecer a erosão. Quimicamente são variáveis, podendo apresentar de baixa a alta fertilidade.

Como vemos no mapa, esses solos são mais frequentes na região sul do Brasil. Em Rondônia, apesar de não aparecer no mapa (devido à escala) também ocorrem na região Cone Sul, no município de Colorado do Oeste, associado aos Argissolos. Aproxime a sua tela e observe o mapa! Aproveite e analise o exemplo de perfil de solo dessa ordem!



👉 Embrapa Solos

👉 @daniel.solos

### Organossolos

São solos orgânicos, que apresentam horizonte hístico, sendo caracterizados pela coloração escura e presença de muitos restos vegetais não decompostos ou semidecompostos, formados quase que exclusivamente em condições de saturação com água, e, por isso, estão presentes principalmente nas planícies ou várzeas inundáveis. Podem ocorrer em condições de drenagem livre, em altitude elevada e com baixas temperaturas ou, impedida, como nas baixadas ou depressões.



👉 Embrapa Solos

👉 @daniel.solos

Esses solos também são mais frequentes no Mato Grosso. Em Rondônia, na escala do mapa, não há registros de ocorrência. Aproxime a sua tela e observe o mapa! Aproveite e analise os exemplos de perfis de solos dessa ordem!

O maior impedimento ao uso agrícola é o elevado teor de água e a alta acidez. Cuidado especial deve ser dado à drenagem desses solos, pois é comum a presença de compostos de enxofre, que quando em contato com o ar se oxidam e acidificam o solo a ponto de torná-los improdutivos.

### *Planossolos*

São solos minerais com horizonte B plânico, subjacente a qualquer tipo de horizonte A, podendo ou não apresentar horizonte E. Apresentam textura predominantemente arenosa em superfície, com grande aumento de argila em subsuperfície e mudança textural abrupta ou transição abrupta com gradiente textural. Assim, o horizonte B plânico é um tipo especial de horizonte B textural.

Como o nome sugere, esses solos ocorrem em relevo plano. A transição abrupta de textura causa uma redução drástica na permeabilidade do solo. O acúmulo e oscilação do nível de água no perfil, condiciona a redução e oxidação do ferro, resultando em cores acinzentadas ou variegadas e mosqueados. De forma geral, observa-se um horizonte de cor clara sobrepondo o horizonte subsuperficial, e em muitos solos, estrutura colunar no horizonte B.

Essa ordem de solo possui limitações físicas ao cultivo, como baixa permeabilidade

de água e dificuldade de penetração das raízes. A principal limitação química ocorre nos Planossolos com caráter sódico, solódico, salino ou sálico, pois existem poucas culturas que se desenvolvem nessas condições.

Como vemos no mapa, essa ordem de solos é relevante. É mais frequente na região do Pantanal, no Nordeste e no sul do Brasil. Em Rondônia, na escala do mapa, não há registros de ocorrência, apesar de que na RCC Rondônia (XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos) foi identificado um perfil de Planossolo Háplico Distrófico gleissólico em Colorado do Oeste, no *Campus* do Instituto Federal de Rondônia. A ocorrência desse tipo de solo nessa região parece estar associada à Gleissolos e Argissolos Acinzentados. Na região amazônica esses solos têm maior expressão no estado de Roraima. Aproxime a sua tela e observe o mapa! Aproveite e analise os exemplos de perfis de solos dessa ordem!



👉 @daniel.solos

👉 Embrapa Solos

### Plintossolos

São solos minerais que possuem horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário. Portanto, apresentam concentração de ferro em algum horizonte, o que leva ao endurecimento na forma de concreções cascalhentas, ou de um horizonte contínuo endurecido por ferro e/ou alumínio (chamado de horizonte F) que facilmente pode ser confundido com rocha (embora seja de origem pedológica). Em muitas regiões essa camada consolidada recebe denominações locais como canga, tapiocanga, laterita, dentre outras.

As principais condições que limitam o uso agrícola são o excesso de água, as

camadas endurecidas no solo e a baixa fertilidade química. No caso dos Plintossolos localizados em baixadas alagadas, a retirada da água (drenagem) pode levar a um endurecimento da parte inferior do solo, criando dificuldade para a penetração de raízes e da água das chuvas.

Como os Plintossolos são solos formados pela influência da oscilação da água, observamos sua maior ocorrência nas regiões mais úmidas do Brasil. Em Rondônia, sua maior expressão está nas planícies inundáveis dos grandes rios que passam pelo estado, tendo maior ocorrência na Planície inundável do Guaporé, como podemos ver no mapa. Aproxime a sua tela e observe o mapa! Aproveite e analise os exemplos de perfis de solos dessa ordem!



📍 Embrapa Solos

📍 @daniel.solos

### Vertissolos

São solos minerais que apresentam horizonte vértico. São identificados pelo baixo grau de desenvolvimento pedogenético e altos teores de argila (30% ou mais de argila ao longo do perfil). Como a argila dos Vertissolos é de alta atividade ( $\geq 27$  cmol<sub>c</sub>/kg), esses solos apresentam pronunciada mudança de volume de acordo com a variação do teor de umidade. Quando úmidos a massa de solo se expande e quando secos se contrai. Assim, formam-se fendas pronunciadas, características do horizonte vértico. Podem ocorrer superfícies de fricção e de compressão.

Esses solos possuem ótimas condições químicas para o desenvolvimento das plantas, porém o movimento frequente da massa de solo acaba prejudicando o sistema radicular. Além disso, são solos pesados de difícil mecanização.

Os Vertissolos são comuns em regiões de intemperismo pouco intenso, como regiões mais frias e/ou mais secas. Assim, ocorrem com maior frequência no sul e no nordeste do Brasil. Em Rondônia, na escala do mapa, não há registros de ocorrência. Nas regiões de ocorrência desses solos, é comum se formar o micro relevo chamado gilgai, que podemos observar na imagem a seguir. Aproxime a sua tela e observe o mapa! Aproveite e analise os exemplos de perfis de solos dessa ordem!



📍 Embrapa Solos

📍 @daniel.solos

**P** **ARGISSOLO** SOIL CARDS



FERTILIDADE ★  
 PROFUNDIDADE ★★★★★  
 DRENAGEM ★★★★★  
 ERODIBILIDADE ★★★★★  
 MECANIZAÇÃO ★★★★★

**GÊNESE**

Solo muito evoluído, profundo e rico em óxidos e argilominerais 1:1 (caulinita principalmente) com acúmulo de argila no horizonte B (B textural) devido à mobilização da argila dos horizontes superficiais (A ou E).

**APTIDÃO AGRÍCOLA**

Suas limitações estão mais relacionadas à baixa fertilidade, acidez, terras elevadas de Al e a suscetibilidade à erosão, em virtude do relevo mais movimentado e da relação textural presente nestes solos, que implica em diferenças de infiltração entre os horizontes superficiais e subsuperficiais.

▼ FRAQUEZA      ▲ RECUPERAÇÃO

Erodibilidade      Cobertura do solo  
 Acidez elevada      Terraceamento  
    Correção do solo



**C** **CAMBISSOLO** SOIL CARDS



FERTILIDADE ★★★★★  
 PROFUNDIDADE ★  
 DRENAGEM ★★★★★  
 ERODIBILIDADE ★★★★★  
 MECANIZAÇÃO ★★★★★

**GÊNESE**

Solos com características bastante variáveis, destacando-se: pouco desenvolvimento pedogenético, presença de minerais primários e textura média a fina. Possui horizonte diagnóstico B incipiente (estrutura pouco desenvolvida).

**APTIDÃO AGRÍCOLA**

Possui aptidão variável de acordo com o material de origem, relevo e condições climáticas em que ocorrem. Quando em ambientes de relevo declivoso os solos são rasos, possuem declividade excessiva e fortes limitações à mecanização graças à presença de pedregosidade ou cascalhos.

▼ FRAQUEZA      ▲ RECUPERAÇÃO

Alta erodibilidade      Avaliação da Capacidade  
 Pedregosidade      Potencial de Uso



**E** **ESPODOSSOLO** SOIL CARDS



FERTILIDADE ★★★★★  
 PROFUNDIDADE ★★★★★  
 DRENAGEM ★★★★★  
 ERODIBILIDADE ★★★★★  
 MECANIZAÇÃO ★★★★★

**GÊNESE**

Solo arenoso formado pelo processo de podzolização com eluição e acumulação de matéria orgânica humificada, alumínio e ferro em profundidade. Possui horizonte B espódico alúvico de horizonte E, A ou horizonte lítico. Alguns indivíduos podem apresentar horizonte B espódico cimentado (fortstein).

**APTIDÃO AGRÍCOLA**

Possui baixa fertilidade natural pois a textura arenosa confere baixa capacidade de retenção de água e nutrientes. Além disso o horizonte superficial possui baixa atividade biológica e o horizonte B cimentado Ortstein, quando presente, dificulta a drenagem e desenvolvimento radicular em profundidade.

▼ FRAQUEZA      ▲ RECUPERAÇÃO

Textura arenosa      Área de Preservação  
 Al<sup>3+</sup> tóxico



**G** **GLEISSOLO** SOIL CARDS



FERTILIDADE ★★★★★  
 PROFUNDIDADE ★★★★★  
 DRENAGEM ★★★★★  
 ERODIBILIDADE ★★★★★  
 MECANIZAÇÃO ★★★★★

**GÊNESE**

Solo hidromórfico com horizonte glei e coloração acinzentada, azulada ou esverdeada, resultante da intensa redução de compostos de Fe em presença de matéria orgânica e excesso de umidade, seja permanente ou periódica.

**APTIDÃO AGRÍCOLA**

Possui aptidão agrícola restrita devido o lençol freático elevado e encharcamento periódico ou integral, o que impede a mecanização e cultivo de culturas intolerantes à saturação de água. Além disso, pode apresentar caráter salino ou horizonte sulfúrico, com S em níveis tóxicos e acidez muito elevada.

▼ FRAQUEZA      ▲ RECUPERAÇÃO

Má drenagem      Abertura de drenos  
 Acidez elevada      Calagem



**L** **LATOSSOLO** SOIL CARDS



FERTILIDADE ★  
 CTC ★★  
 PROFUNDIDADE ★★★★★  
 POROSIDADE ★★★★★  
 PERMEABILIDADE ★★★★★

**INTEMPERISMO OVERPOWER**

Este solo é altamente evoluído, laterizado e rico em argilominerais 1:1 (caulinita principalmente) e óxi-hidróxidos de Fe e Al (goethita, hematita e gibbsita).

**ATRIBUTOS FÍSICOS vs QUÍMICOS**

O intemperismo avançado confere a esse solo atributos químicos indesejáveis para a atividade agrícola, porém os atributos físicos merecem destaque, conferindo boa estrutura, drenagem e facilidade de mecanização.

▼ FRAQUEZA      ▲ RECUPERAÇÃO

Acidez elevada      Calagem  
 Alta m<sup>3</sup>      Gessagem  
 Fixação de P



**T** **LUVISSOLO** SOIL CARDS



FERTILIDADE ★★★★★  
 PROFUNDIDADE ★★★★★  
 DRENAGEM ★★★★★  
 ERODIBILIDADE ★★★★★  
 MECANIZAÇÃO ★★★★★

**GÊNESE**

Solo com horizonte B textural imediatamente abaixo de horizonte A ou E, apresentando argila de atividade alta e saturação por bases elevada.

**APTIDÃO AGRÍCOLA**

São solos com bons atributos químicos, com pH entre pouco ácido a levemente alcalino e boa disponibilidade de bases, porém podem apresentar caráter salino ou sódico. A mudança textural abrupta associada a relevos ondulados requer cuidados contra a erosão. Além disso, podem apresentar pedregosidade, o que dificulta a mecanização, a drenagem e atenua a erosão.

▼ FRAQUEZA      ▲ RECUPERAÇÃO

Erodibilidade      Terraços  
 Pedregosidade      Cultivo em nível



<p><b>R NEOSSOLO</b> SOIL CARDS</p>  <p>FERTILIDADE ★★★★★            PROFUNDIDADE ★★★★★            DRENAGEM ★★★★★            ERODIBILIDADE ★★★★★            MECANIZAÇÃO ★★★★★</p> <p><b>GÊNESE</b>            Solo pouco evoluído, sem horizonte B diagnóstico definido e com grande influência do material de origem devido à baixa intensidade de atuação dos fatores de formação ou material originário resistente ao intemperismo.</p> <p><b>APTIDÃO AGRÍCOLA</b>            Ocorrem solos rasos, de relevo inclinado e com presença de calhaus e cascalhos, o que limita a mecanização e o desenvolvimento radicular das plantas. Porém também ocorrem solos mais profundos, menos declivosos e de textura arenosa, o que resulta em baixa fertilidade, baixa retenção de água e nutrientes e alta susceptibilidade a erosão eólica.</p> <p>▼ FRAQUEZA    ▲ RECUPERAÇÃO            Baixa oferta hídrica    Irrigação            Baixa CTC    Matéria Orgânica</p> <p><b>SOLO FÉRTIL</b></p>	<p><b>N NITOSSOLO</b> SOIL CARDS</p>  <p>FERTILIDADE ★★★★★            PROFUNDIDADE ★★★★★            DRENAGEM ★★★★★            ERODIBILIDADE ★★★★★            MECANIZAÇÃO ★★★★★</p> <p><b>GÊNESE</b>            Solo muito evoluído, argílico, de mesoclima subtropical semi-úmido, mas pode apresentar argilização 2:1. Possui horizonte B nítrico e estrutura de grau moderado ou forte, com bom estado-agregado (aspecto brioso) ou caráter retido.</p> <p><b>APTIDÃO AGRÍCOLA</b>            O nítrico germinio desloca o cálcio elevado acumulando-o na zona raiz, mesmo solos sendo profundos e bem drenados. A alta susceptibilidade e textura argilosa condiciona boa oferta hídrica, porém torna-o passível para mecanização e suscetível à compactação. Germinado são solos muito férteis, mas também ocorre solos ácidos e elevar-se.</p> <p>▼ FRAQUEZA    ▲ RECUPERAÇÃO            Densidade    Terraços                              Cobertura do solo</p> <p><b>SOLO FÉRTIL</b></p>	<p><b>O ORGANOSSOLO</b> SOIL CARDS</p>  <p>FERTILIDADE ★★★★★            PROFUNDIDADE ★★★★★            DRENAGEM ★★★★★            ERODIBILIDADE ★★★★★            MECANIZAÇÃO ★★★★★</p> <p><b>GÊNESE</b>            Solos resultantes de acumulação de resíduos orgânicos em graus variáveis de decomposição, formado em condições de drenagem restrita ou saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso.</p> <p><b>APTIDÃO AGRÍCOLA</b>            Estes solos apresentam baixos valores de densidade e alto teor de carbono orgânico, possuem também alta CTC, SB variável e V% baixa e por vezes Al<sup>3+</sup> elevado. São predominantemente ácidos, em especial os Organossolos com materiais sulfúricos, que também podem conter teor de S nas plantas.</p> <p>▼ FRAQUEZA    ▲ RECUPERAÇÃO            Acidez elevada    Calagem            Drenagem limitada    Abertura de drenos</p> <p><b>SOLO FÉRTIL</b></p>
<p><b>S PLANOSSOLO</b> SOIL CARDS</p>  <p>FERTILIDADE ★★★★★            PROFUNDIDADE ★★★★★            DRENAGEM ★★★★★            ERODIBILIDADE ★★★★★            MECANIZAÇÃO ★★★★★</p> <p><b>GÊNESE</b>            Apresenta intensa perda de argila, dos horizontes superficiais para os subsuperficiais (Bt). Apresenta estrutura prismática, colunar ou em blocos angulares e subangulares e, às vezes, estrutura macia, tornando-o adensado.</p> <p><b>APTIDÃO AGRÍCOLA</b>            O horizonte Bt adensado com estruturas endurecidas limitam a drenagem e penetração das raízes. Pode ocorrer a presença de lençol d'água suspenso e textura superficial muito arenosa. Possui fertilidade variável, com altos teores de Ca e Mg, porém frequentemente com caráter sódico, solódico, salino ou salcico.</p> <p>▼ FRAQUEZA    ▲ RECUPERAÇÃO            Má drenagem    Abertura de drenos            Salinidade    Turnos de rega</p> <p><b>SOLO FÉRTIL</b></p>	<p><b>F PLINTOSSOLO</b> SOIL CARDS</p>  <p>FERTILIDADE ★★★★★            ACIDEZ ★★★★★            PROFUNDIDADE ★★★★★            DRENAGEM ★★★★★            MECANIZAÇÃO ★★★★★</p> <p><b>GÊNESE</b>            Sua gênese está relacionada à segregação, mobilização, transporte e concentração de íons e compostos de Fe que em ambientes mal drenados ou com lençol freático intermitente favorece a formação de plintitas e petroplintitas.</p> <p><b>APTIDÃO AGRÍCOLA</b>            A concentração de materiais ferruginosos pode condicionar a formação de camadas concrecionárias semipermíveis que dificultam a penetração de raízes, mecanização, fluxo de água no perfil. Além disso a baixa disponibilidade de nutrientes, acidez elevada e Al tóxico requer atenção.</p> <p>▼ FRAQUEZA    ▲ RECUPERAÇÃO            Má drenagem    Abertura de drenos            Acidez elevada    Calagem                              Gessagem</p> <p><b>SOLO FÉRTIL</b></p>	<p><b>V VERTISSOLO</b> SOIL CARDS</p>  <p>FERTILIDADE ★★★★★            PROFUNDIDADE ★★★★★            DRENAGEM ★★★★★            ERODIBILIDADE ★★★★★            MECANIZAÇÃO ★★★★★</p> <p><b>GÊNESE</b>            Solo formado em ambientes de sedimentação calcária, desenvolvida a partir rochas básicas ou sedimentos de textura fina, o que confere a este solo altos teores de argila 2:1, partículas responsáveis pela expansão e contração do solo (presença do horizonte vertico).</p> <p><b>APTIDÃO AGRÍCOLA</b>            Solo com alta fertilidade (valores de pH, SB e CTC elevados), porém a textura muito argilosa limita a drenagem e confere alta pegajosidade quando úmido e alta dureza quando seco, dificultando o preparo do solo. A contração das argilas forma fendas que dificultam as raízes das plantas no período seco.</p> <p>▼ FRAQUEZA    ▲ RECUPERAÇÃO            Fendilhamento    Culturas tolerantes            Má drenagem    Abertura de drenos</p> <p><b>SOLO FÉRTIL</b></p>

👉 @solo.fertil

Esse jogo de cartas é uma ótima síntese das principais características das ordens de solos brasileiras. Mas como podemos observar, o @solo.fertil não disponibilizou a carta da ordem dos Chernossolos e, tampouco, uma forma de jogar com essas cartas. Talvez esse seja um bom desafio para estudar e se divertir, criar uma carta para os Chernossolos e as regras de um jogo.

### Outras classes de importância agrícola

Como vimos, para entender o funcionamento e origem dos Neossolos é importante conhecer as suas subordens. Existem outras classificações de outros níveis categóricos de relevância para a profissão de Técnico na área de Ciências Agrárias.

Em várias ordens de solos no terceiro nível categórico (Grupo) se descrevem características relacionadas à saturação por bases (saturação do complexo sortivo). A expressão “alta saturação por bases” se aplica a solos eutróficos, ou seja, solos com

saturação por bases igual ou superior a 50% e “baixa saturação por bases” a solos distróficos, aqueles com valores inferiores a 50%.

Em termos de classificação esse critério é aplicado no horizonte diagnóstico subsuperficial (B ou C). Para os Chernossolos, esse é um critério importante, pois é uma das exigências para classificar o horizonte A chernozêmico, que deve ter no mínimo 65% de saturação por bases.

Quando vemos um solo com o nome eutrófico tendemos a pensar que é um solo de alta fertilidade, porém temos que observar o valor da capacidade de troca de cátions do solo (CTC), pois solos com CTC menor que  $4 \text{ cmol}_e/\text{kg}$ , mesmo que sejam eutróficos terão pouca disponibilidade de nutrientes (menos de  $2 \text{ cmol}_e/\text{kg}$  de soma de bases – Ca + Mg + K + Na). Lembrando que para culturas anuais é necessário disponibilizar pelo menos  $2 \text{ cmol}_e/\text{dm}^3$  de Ca + Mg (cálcio + magnésio).

O caráter aluminico é considerado para classificar o terceiro nível categórico de várias ordens de solos de importância na região amazônica, como os Argissolos e Nitossolos. Como explicamos, esse caráter ocorre quando o solo apresenta alto teor e saturação de alumínio (teor de alumínio extraível  $\geq 4 \text{ cmol}_e/\text{kg}$  de solo, saturação por alumínio  $\geq 50\%$  e/ou saturação por bases  $< 50\%$ ). Esse critério também é considerado no horizonte B ou no horizonte C (na ausência de B). Isso significa que a raiz pode ter dificuldade de se desenvolver em profundidade. Portanto, é importante além de corrigir a acidez superficial (com a calagem), corrigir a acidez subsuperficial (com a gessagem).

A atividade de argila aparece no nome (classificação taxonômica) de alguns solos, por exemplo, nas ordens dos Argissolos e Nitossolos. A sigla Ta se refere a solos de argila de atividade alta ( $\geq 27 \text{ cmol}_e/\text{kg}$ ) e Tb a solos de argila de atividade baixa ( $< 27 \text{ cmol}_e/\text{kg}$ ). Portanto, solos de argila de atividade alta e eutróficos, são solos de boa condição química; solos de argila de atividade alta e aluminicos podem exigir correção do alumínio em profundidade, mas em geral têm bom potencial produtivo; e solos de argila de atividade baixa e distróficos têm piores condições de fertilidade.

O caráter ácrico também dá informações acerca da condição química dos solos e indica baixa fertilidade. É usado no terceiro nível categórico (Grupo) para Latossolos e Plintossolos. Um solo é considerado ácrico quando apresenta, nos primeiros 150 cm, a soma de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Al}^{3+}$  menor ou igual a  $1,5 \text{ cmol}_e/\text{kg}$  de argila e atende a uma das seguintes condições: 1) possui pH em KCl 1 M igual ou maior que 5,0; ou 2) possui  $\Delta\text{pH}$  positivo ou nulo ( $\Delta\text{pH} = \text{pH KCl} - \text{pH}_2\text{O}$ ). Essas características indicam que o solo possui mais cargas positivas que negativas e, portanto, maior capacidade de troca de ânions do que de cátions.

O caráter argilúvico nos traz informações importantes sobre a presença de gradiente textural no solo. Essa classe é atribuída a solos que apresentam gradiente textural, porém menor do que o exigido para caracterizar o horizonte B textural. Assim, quando vemos o caráter argilúvico no terceiro nível categórico de um solo devemos nos atentar para o potencial de erosão de solo, principalmente em relevos mais acidentados.

O caráter psamítico é usado no terceiro nível categórico dos Neossolos Flúvicos e Neossolos Regolíticos e no quarto nível dos Latossolos Amarelos Distróficos e se refere a solos com teor de argila inferior a 200 g/kg na maior parte dos primeiros 150 cm a partir da superfície do solo. Assim, indicam propriedades intermediárias para os Neossolos Quartzarênicos. Essa classificação é importante no estado de Rondônia, que possui uma grande mancha de Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Amarelos Distróficos psamíticos. Quando vemos essas classificações, temos que nos lembrar que esses são solos muito similares, de baixa fertilidade, elevada drenagem e, portanto, sensíveis ao cultivo agrícola e com elevado potencial de contaminação do lençol freático.



### PARA REFLETIR

Vamos refletir sobre dois pontos importantes dessa Unidade! Primeiro, a importância da descrição morfológica do solo para a profissão de Técnico na área de Ciências Agrárias.

A morfologia reflete os processos pelos quais o solo passou durante a sua formação e, portanto, está relacionada com o material de origem, relevo, clima, organismos e tempo de formação, bem como, com os processos pedogenéticos específicos, como argiluviação, latossolização, bioturbação etc. Assim, a morfologia reflete a história do solo e, isso nos dá indicativos importantes sobre o potencial e a restrição de uso do solo.

Solos hidromórficos apresentam coloração acinzentada, variegada e/ou mosqueados. Isso nos mostra problemas de drenagem do solo, o que pode restringir seu uso agrícola. Solos vermelhos indicam condição de boa drenagem e, geralmente, boa estruturação do solo. Logo, são solos que, normalmente, são aptos para a mecanização.

Esses são apenas alguns exemplos que uma boa descrição morfológica pode nos dar. Portanto, em uma boa prática profissional agropecuária, não devemos analisar o solo apenas superficialmente e somente em relação às condições químicas do solo, o que frequentemente ocorre e leva a processos sérios de degradação do solo.

O segundo ponto de reflexão é sobre a classificação taxonômica, que é uma importante ferramenta de comunicação para os usuários do solo. Porém, classificar o solo não consiste em uma tarefa fácil, nem para os profissionais experimentados na

área. Portanto, o Técnico da área de Ciências Agrárias deve concentrar seus esforços em compreender as características do solo que são refletidas pelas ordens de solos e demais níveis categóricos, para assim compreender mapas de solos, classificação de aptidão agrícola etc.



**Confira essas postagens sobre os conteúdos dessa Unidade!**

- 👉 Cores do solo
- 👉 Textura do solo
- 👉 Classificação dos solos por tamanho dos grãos
- 👉 Textura do solo vs. armazenamento de água
- 👉 Consistência do solo
- 👉 Consistência do solo molhado
- 👉 Consistência do solo siltoso
- 👉 Estrutura do solo
- 👉 Estrutura laminar
- 👉 Cerosidade
- 👉 Porosidade do solo
- 👉 Plintita
- 👉 Horizonte concrecionário
- 👉 Profundidade do solo
- 👉 Classes de solos brasileiros
- 👉 Classes do solo

**Confira também esses vídeos!**

- 👉 Abertura de trincheira
- 👉 Experimento sobre a porosidade do solo
- 👉 O Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)

**Você também pode aprender sobre Formação e Classificação dos Solos jogando!**

- 👉 Jogos Formação e Classificação dos Solos



## VERIFIQUE A SUA APRENDIZAGEM

1. Você é capaz de descrever corretamente um perfil de solo no campo?
2. Correlacione as características morfológicas do solo (transição entre horizontes, cor, textura, estrutura, consistência, porosidade, cerosidade e presença de raízes) com o seu processo de formação e com as suas limitações e potencialidade de uso.
3. Descreva as principais características das treze ordens de solo brasileiras.

## UNIDADE VI

### MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO



#### OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

Ao final desta Unidade, o estudante deverá:

- descrever os processos de degradação do solo;
- reconhecer os agentes de degradação do solo;
- diferenciar os sistemas de preparo do solo; e
- aplicar práticas de conservação do solo e da água.



#### FIQUE POR DENTRO

### 1. PROCESSOS DE DEGRADAÇÃO DO SOLO

A degradação de solo diz respeito a interferências sobre o estado natural dos solos, reduzindo a qualidade física, química e/ou biológica do solo. É desencadeada por vários processos que podem ocorrer de forma natural, mas que frequentemente são agravadas pela ação humana. As principais atividades antrópicas que levam à degradação do solo são:

- exploração desordenada de florestas, mediante derrubadas e queimadas;
- desmatamento de áreas de preservação permanente;
- explorações agrícolas sem medidas conservacionistas;
- uso contínuo e indiscriminado de agrotóxicos;
- ocupação urbana desordenada;
- depósito inadequado de resíduos urbanos, industriais e agrícolas.

É importante destacar que a degradação do solo leva também à perda da qualidade da água e do ar. O solo funciona como um filtro de partículas, moléculas e compostos que podem poluir o lençol freático. O processo de erosão do solo leva ao assoreamento de cursos d'água. E o solo pode reter ou emitir gases de efeito estufa a depender do manejo utilizado.

Na sequência, vamos estudar os principais processos de degradação do solo.

## 1.1 Compactação

É a alteração da estrutura do solo com redução no tamanho e quantidade de poros. Pode ser causada pelo tráfego excessivo de máquinas agrícolas e animais em locais que o manejo não é feito de forma adequada, podendo ser agravado se houver umidade pois a estrutura do solo fica mais fraca e mais suscetível à compactação. Quando isso acontece, a infiltração de água e aeração do solo são reduzidas, prejudicando o desenvolvimento da vegetação no local.



👉 @solo.fertil

As imagens a seguir comparam o crescimento das raízes e a infiltração de água em solos compactados e em solos bem estruturados. Elas foram retiradas de animação em formato de vídeo, assim, recomendamos o acesso à publicação original para melhor compreensão.



👉 @solo.fertil

## 1.2 Erosão

A erosão ocorre de forma natural, alterando o relevo, devido à ação da chuva, do vento e de outros agentes que desgastam solos e rochas, podendo causar a alteração da paisagem e a degradação do solo e da água. As áreas sem cobertura são as mais prejudicadas, pois sofrem diretamente a ação dos agentes erosivos.

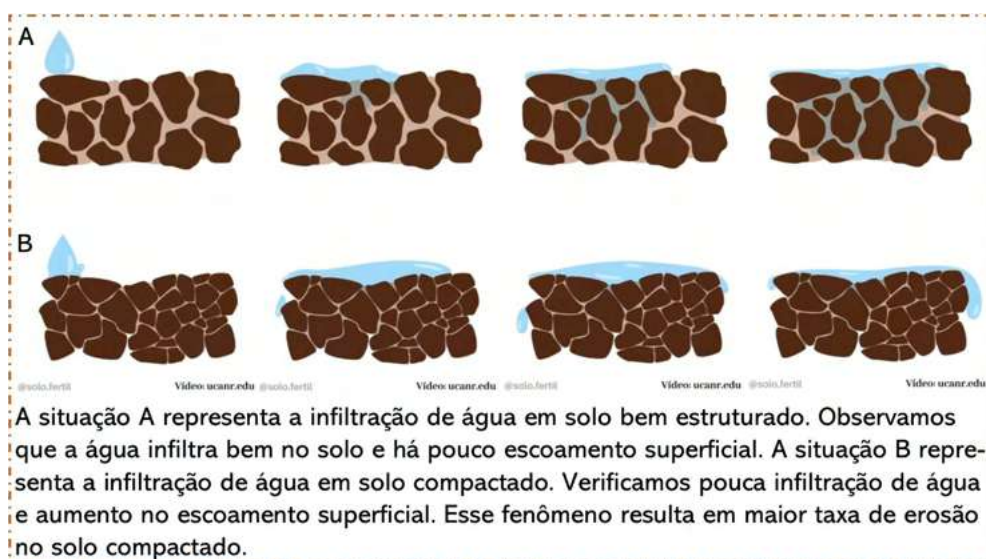
São diversos os tipos de erosão existentes, porém, agronomicamente, são mais relevantes a erosão hídrica, a erosão eólica e erosão antrópica.

### *Erosão hídrica*

Desagregação e transporte das partículas e sedimentos do solo ou de rochas causados pela força e/ou fluxo de água. Esse processo é agravado em solos compactados, devido à redução da infiltração de água, e em solos descobertos, pois as gotas da chuva caem diretamente no solo provocando a desagregação e remoção de partículas. As gotas de chuva possuem muita energia e com o impacto delas (efeito *splash*) nos diferentes tipos de solo, podem surgir erosões.



👉 @Brizzi et al. (2018)



👉 @solo.fertil

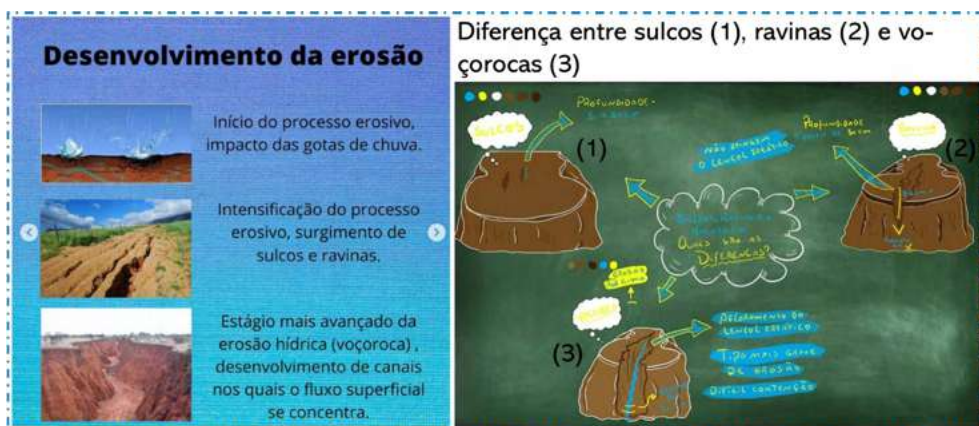
A erosão hídrica pode ser classificada em três tipos:

- **Laminar:** processo de transporte das partículas sólidas do solo de forma superficial. Dito de outra forma é a lavagem de uma pequena lâmina da superfície do terreno. O processo se inicia pela desagregação das partículas pela energia das gotas de chuva, como podemos ver na figura acima. Estando desagregadas, as partículas são facilmente carreadas pelo escoamento superficial da água, formado pela junção das gotas de chuva que caem sobre a superfície do terreno. Nesse caso, o escoamento superficial distribui-se homogeneamente pelo terreno. Em estado avançado pode expor raízes de algumas culturas e até mudar a coloração do solo.
- **Em sulcos:** ocorre quando há concentração do escoamento superficial, as gotas de chuva juntam-se num volume grande de água, formando as enxurradas, que

por apresentarem alta energia de transporte, geram sulcos no terreno ou até ravinas. Um fator agravante desse tipo de erosão é a aração que acompanha o relevo. Os sulcos no solo podem prejudicar o tráfego de animais e máquinas no local.

- Em voçorocas: acontece quando as ravinas se aprofundam e encontram o lençol freático, assim a voçoroca é o estágio mais avançado da erosão. O tipo de solo tem grande influência nesse tipo de erosão. Solos argilosos apresentam resistência maior que a de solos arenosos, por apresentarem melhor estrutura e agregados mais fortes.

As postagens a seguir podem nos ajudar a compreender esses diferentes processos.



👉@ideiasustentaveis

👉@geoilustrada

### Erosão eólica

O agente atuante nessa forma de erosão é o vento, que pode mover as partículas do solo e das rochas a longas distâncias por diferentes formas a depender do tamanho dessas partículas. O transporte das partículas por suspensão ocorre quando são de diâmetro menor que 0,1 mm. Por rolamento, decorre em grãos acima de 0,5 até 2,0 mm de diâmetro.

A erosão pelo vento no Brasil é comum nas áreas planas do litoral, do planalto central, do nordeste e do sul, onde a velocidade do vento é superior a 15 km/h. Porém, nos últimos anos temos testemunhado importantes eventos de erosão eólica, formando imensas nuvens de poeira por todo o país, devido a fortes ventos em áreas com solo descoberto na transição entre o período seco e chuvoso.



Nuvem de poeira em Guararapes, SP, em 01/10/2021



Nuvem de poeira em Pontes e Lacerda, MT, em 14/10/2021

 G1

 CenárioMT

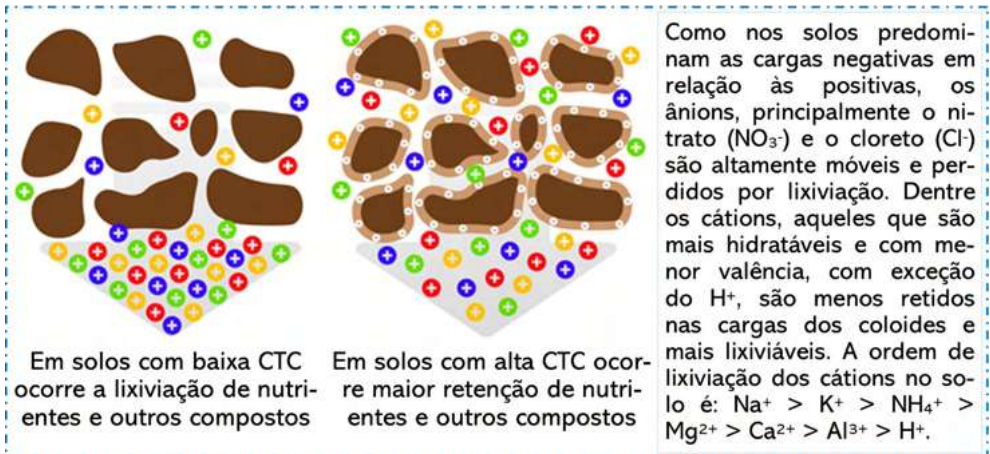
### *Erosão antrópica*

Modificações no relevo causadas pelo homem podem acelerar o processo de erosão, por exemplo, desmatamento de florestas com derrubadas e queimadas para transformá-las em estradas, pastos, cidades; construção de túneis; aplainamento de morros; desvios de cursos d'água; etc. Com isso, o relevo é constantemente e rapidamente modificado tendo um grande impacto na natureza.

### **1.3 Lixiviação**

A lixiviação é a extração dos constituintes químicos do solo que se encontram na solução do solo pelo movimento descendente da água no corpo do solo. Portanto, solos com poucas cargas elétricas, como os solos arenosos ou muito intemperizados, são mais suscetíveis ao processo de lixiviação. Altas taxas de chuva também intensificam esse processo.

Apesar de ser um processo natural, a lixiviação causa a redução da fertilidade do solo e, portanto, pode ser considerada um processo de degradação do solo. Logo, as práticas de manejo devem visar reduzir a perda de nutrientes por lixiviação. Uma boa estratégia, nesse sentido, é elevar o teor de matéria orgânica do solo.



Adaptado de [VERDE blog](#)

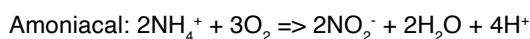
## 1.4 Acidificação

A acidificação ocorre quando o pH da solução solo diminui. Quando esse processo é intenso pode reduzir a disponibilidade de nutrientes às plantas e alterar a comunidade microbiana, desfavorecendo processos importantes, como a fixação biológica de nitrogênio.

O processo de acidificação pode ocorrer de forma natural, porém frequentemente intensificado pela atividade antrópica. Vejamos abaixo os fatores que afetam a acidez do solo:

- Material de origem – solos desenvolvidos de rochas ou de material de origem básicos geralmente possuem valores de pH mais altos do que aqueles formados de rochas ácidas (por exemplo: granito).
- Precipitação pluviométrica – os nutrientes básicos, como o cálcio e o magnésio, são lixiviados na água de drenagem e são por elementos acidificantes, principalmente hidrogênio e alumínio. Assim, os solos formados sob condições de alta pluviosidade são mais ácidos do que aqueles formados sob condições mais secas.
- Decomposição da matéria orgânica – a matéria orgânica do solo é constantemente decomposta pela microbiota. Como produto da decomposição temos, além dos nutrientes na forma mineral, ácidos orgânicos, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e água. A dissolução do  $\text{CO}_2$  em água gera acidez pela liberação de íons  $\text{H}^+$  como vimos na Unidade III, além da própria acidez gerada pelos ácidos orgânicos.
- Vegetação nativa – o tipo de vegetação existente durante a formação do solo influencia o pH. Os solos formados sob vegetação de floresta tendem a ser mais ácidos do que aqueles desenvolvidos sob vegetação de gramíneas. As coníferas causam maior acidez do que as florestas decíduas.

- Tipo de cultura – os solos podem tornar-se mais ácidos quando as colheitas removem as bases. Culturas diferentes removem quantidades diferentes de Ca e Mg. As leguminosas geralmente exportam maiores quantidades desses nutrientes do que as plantas não leguminosas. As quantidades de Ca e de Mg também variam de acordo com a parte da planta que é removida. Quando a palhada de uma cultura ou a forragem é removida de um solo, um balanço final ácido permanece. Quando os grãos ou sementes são removidos, o balanço final é o aumento do pH porque as sementes contêm um alto nível de componentes ácidos.
- Fixação biológica de N – plantas que fixam o N atmosférico ( $N_2$ ) em simbiose com bactérias diazotróficas liberam íons de hidrogênio ( $H^+$ ) na sua rizosfera. A acidez gerada pode variar de 0,2 a 0,7 unidades de pH por mol de N fixado.
- Perda do solo superficial por erosão – esse processo pode aumentar a acidez na camada arável, pois em muitos solos o pH das camadas mais profundas é menor do que das camadas superficiais. Assim, a perda de solo superficial pode levar à redução do pH em superfície.
- Adubação nitrogenada – o N do fertilizante, da matéria orgânica, do esterco, e da fixação biológica produz acidez. Não obstante os diversos benefícios da adubação no aumento da produtividade agropecuária, a segunda causa principal da acidificação é ocasionada por alguns fertilizantes (sobretudo os amoniacais e a ureia), os quais, durante a sua transformação no solo (pelos microrganismos), resultam em  $H^+$ :



Ureia:  $CO(NH_2)_2 + 2H_2O \Rightarrow (NH_4)_2CO_3$ ; (O  $NH_4^+$  formado reage no solo, como mostrado na reação anterior).

Solos ácidos necessitam de correção (calagem) para garantir bom desempenho das culturas agrícolas.

## 1.5 Salinização

A salinização do solo é um processo de degradação dos solos caracterizada pelo enriquecimento de sais. Ela afeta a germinação, a densidade das culturas e o desenvolvimento vegetativo, reduzindo a produtividade e, nos casos mais sérios, levando à morte generalizada das plantas.

O processo de salinização é comum em áreas de clima árido e semiárido, onde as taxas de evaporação são muito altas e as chuvas são escassas, dessa forma, ocorre o acúmulo de sais minerais em forma de íons no solo. Porém, a salinização pode decorrer também devido à água de irrigação saturada por sais, onde a água posteriormente irá evaporar e o sais permanecerão na superfície terrestre.



👉 FAO (2021)

Os solos salinos necessitam de manejo adequado e atenção constante. Seguem algumas alternativas para o manejo:

- irrigação utilizando água de qualidade para lixiviar os sais;
- sistema de drenagem em caso de lençol freático elevado;
- uso de gesso agrícola para carrear os sais em subsuperfície; e
- utilização de plantas tolerantes à salinidade.

## 1.6 Desertificação

A desertificação é um processo de degradação do solo causado por fatores ambientais e intensificado pela ação humana. Esse fenômeno foi definido pelas Nações Unidas como a “degradação dos solos em zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as alterações climáticas e as atividades humanas”. Assim, é válido salientar que desertificação não é sinônimo de avanço das zonas de deserto existentes, mas sim do resultado da seca e aridez, que tornam o solo mais pobre, menos produtivo e mais suscetível à erosão.

Entre outras causas, a desertificação está relacionada com as más práticas de

irrigação, o desmatamento e/ou superlotação animal, resultando em solos esgotados onde a evaporação é maior que a infiltração e, portanto, dificultando o desenvolvimento de vida vegetal e animal no local.



👉 @solonaescolaufmg

## 2 . SISTEMAS DE PREPARO E MANEJO DO SOLO

No Brasil classificamos as opções de preparo e manejo do solo em três tipos principais. Assim, o método mais adequado para cada área deve ser escolhido de acordo com o tipo de solo, tipo de colheita e capital disponível. A seguir, discutiremos os três tipos principais de preparo e manejo do solo.

### 2.1 Plantio convencional

Também chamado de preparo convencional ou sistema convencional, o plantio convencional envolve as práticas tradicionais, como o uso intensivo de máquinas no preparo do solo, revolvendo a terra e destruindo a vegetação espontânea existente. É dividido em preparo inicial e preparo secundário.

O preparo inicial pode ser feito de três formas: 1) por meio de aração, que visa à descompactação de camadas até 30 cm e promove a incorporação de restos culturais,

corretivos e vegetação existente, podendo ser utilizados arados de aivecas ou de discos; 2) pela subsolagem, que objetiva a descompactação do solo em camadas abaixo de 30 cm e somente é recomendada quando a camada compactada impede o fluxo de água ou o sistema radicular das plantas, pois este processo utiliza grande gasto de energia e requer mais operações complementares, já que a superfície do solo fica bastante irregular; e 3) com escarificação, que também promove descompactação até a profundidade de 30 cm, porém mantendo parte da cobertura vegetal existente e movimentando menos o solo.

O preparo secundário deve ser realizado o mais próximo possível do plantio, e tem o objetivo de nivelar a superfície do solo, eliminando plantas que emergiram após o preparo inicial e tornando o leito adequado ao estabelecimento da lavoura. Normalmente são utilizadas grades de discos ou de dentes; estas são mais sujeitas ao acúmulo de palha (embuchamento), mas possuem a vantagem de desagregar menos o solo. As enxadas rotativas são bastante empregadas em áreas pequenas e possibilitam várias regulagens quanto ao tamanho dos torrões.

No preparo do solo no sistema convencional a incorporação dos resíduos de culturas anteriores permite um melhor desenvolvimento radicular da cultura que será implantada.



Esta Foto de Autor Descoberto está licenciado em CC BY-SA

#### Vantagens:

- Incorporação de plantas daninhas.
- Possibilidade de incorporação de corretivos e adubos.
- Aumento da porosidade na camada arável.
- Criação de um ambiente favorável ao desenvolvimento das raízes.

#### Desvantagens:

- Excesso do tráfego de máquinas na área.
- Exposição do solo.
- Redução dos teores de MO.
- Compactação da subsuperfície (pé-de-grade).
- Limitação das raízes na camada arável.

#### Cuidados:

- Substituir a gradagem pesada por aração ou escarificação.
- Realizar o mínimo possível de gradagens niveladoras e próximo à sementeira.
- Alternar os implementos de preparo do solo, trabalhando a diferentes profundidades e com diferentes mecanismos de corte (discos e dentes).
- Realizar as operações nas faixas ideais de umidade.
- Aração e gradagem:
  - ⇒ Solo argiloso -> 60 a 70% da capacidade de campo
  - ⇒ Solo arenoso -> 60 a 80% da capacidade de campo
- Escarificação:
  - ⇒ 30 a 40% da capacidade de campo

## 2.2 Plantio direto

Também chamado de plantio direto na palha ou sistema de plantio direto, esse tipo de manejo vem sendo muito adotado no Brasil. Dispensa as operações de preparo inicial e secundário do solo, realizando-se apenas a abertura do sulco de plantio. O intuito é não remover a cobertura do solo com restos de culturas anteriores, pois a principal função dessa camada de material morto é proteger o solo do impacto direto das gotas da chuva e da ação de outros agentes intempéricos, reduzindo o potencial de erosão, aumentando o teor de matéria orgânica, a ciclagem de nutrientes, o teor de umidade e atividade microbiana do solo.

Além da ausência do revolvimento do solo o plantio direto conta com a prática de rotação de culturas e uso de culturas melhoradoras do solo. Esse processo quebra o ciclo de pragas, aumenta a matéria orgânica do solo e o teor de alguns nutrientes, como o N e melhora a eficiência de uso da terra.

Atenção especial deve ser dada no início da implantação do sistema. É importante revolver o solo para incorporar o calcário e os fertilizantes necessários para a adubação corretiva, pois, posteriormente a ausência de revolvimento do solo impede essa incorporação.



#### **Vantagens:**

- Evita o impacto direto da chuva.
- Diminui as taxas de perdas por erosão e da água disponível às plantas.
- Regula a temperatura do solo.
- Conserva a umidade do solo.
- Melhora a estrutura do solo.
- Reduz a compactação do solo.
- Fonte de energia para os microrganismos do solo.
- Aumenta a atividade biológica do solo.
- Aumenta a capacidade de troca cátions do solo.
- Diminui a lixiviação de nutrientes.
- Aumenta o teor de N no solo.
- Diminui a infestação de plantas daninhas.
- Aumenta a disponibilidade de P no solo.

#### **Desvantagens:**

- Aplicação superficial de corretivos e adubos.
- Pode-se aumentar o investimento e dispendio com custo de herbicidas.
- Frequentemente é necessário o uso de máquinas específicas para o sistema.
- Necessidade de investimento em conhecimento e em pessoal técnico especializado em utilização de herbicidas, trato de ervas daninhas, equipamentos etc.

#### **Cuidados:**

- Realizar rotação de culturas.
- Utilizar culturas melhoradoras de solo.
- Monitorar indicadores físicos de qualidade do solo.
- Construir a fertilidade do solo antes de implantar o sistema.

## 2.3 Cultivo mínimo

É um método intermediário entre o plantio convencional e o plantio direto. A prática consiste no menor uso possível de máquinas agrícolas, para que não haja muito revolvimento e compactação do solo.



Esta Foto de Autor Desconhecido está licenciado em CC BY-SA.

As vantagens e desvantagens do cultivo mínimo são intermediárias entre o sistema convencional e o plantio direto.

## 3 . PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO DO SOLO

São técnicas de manejo que causam a menor agressão possível ao solo, com o objetivo de reduzir o processo erosivo e aumentar a fertilidade do solo. Essas técnicas são divididas em práticas mecânicas, vegetativas e edáficas e proporcionam um rendimento econômico satisfatório, um ótimo potencial produtivo do solo e o equilíbrio ecológico.

### 3.1 Mecânicas

Nessa prática, tem-se o uso de valetas e terraços com o objetivo de direcionar para locais adequados o escoamento das águas das chuvas que, quando não tomadas providências, sempre carregam o material da superfície do solo causando erosões.

Destacam-se entre as práticas mecânicas: o terraceamento, bacias de retenção,

barraginhas, canais escoadouros, cordão de pedras e cultivo em contorno ou plantio em nível.

### *Curvas de nível*

Essa técnica consiste basicamente em representar diferenças de altitudes em determinado relevo analisado. A marcação geralmente é feita por um aparelho que contém um nível e o plantio é realizado consonante com as curvas de nível marcadas. Assim, evita-se a formação de corredores entre as linhas de plantio a favor do desnível do terreno (plantio morro abaixo).

As vantagens do plantio em nível são controlar a erosão do solo e reter a água da chuva em uma linha de curvas. Quando não se tem a curva de nível, com a chegada da chuva toda parte fértil, a camada superficial do solo, é arrastada pela água. Essa prática evita que a camada mais fértil do solo e os corretivos e adubos que o produtor aplica na pastagem ou na lavoura sejam levados para as áreas mais baixas do terreno.

### *Terraceamento*

O terraceamento é uma das práticas conservacionistas mais difundidas entres os agricultores, utilizada para controlar as erosões hídricas. Consiste na construção de terraços (estruturas compostas de um canal e um dique ou camalhão), no sentido transversal à declividade do terreno, formando obstáculos físicos capazes de reduzir a velocidade do escoamento e disciplinar o movimento da água sobre a superfície do terreno.

As vantagens que podem ser conseguidas com adoção do terraceamento em áreas agrícolas são: redução da velocidade e do volume do escoamento superficial; redução das perdas de solo, água, defensivos e insumos; aumento da umidade do solo, uma vez que há maior infiltração de água; redução da vazão de pico dos cursos d'água e aumento da recarga de água no lençol freático; amenização da topografia, melhoria das condições de mecanização das áreas agrícolas, melhor programação de plantio e colheita.

Existem dois tipos de terraceamento:

- Terraço de armazenamento: construído com o canal em nível e as extremidades bloqueadas, de modo que a água decorrente do escoamento superficial seja infiltrada no solo, como se pode observar na imagem a seguir.
- Terraço de drenagem: construído com canal em desnível, acumulando o excesso de água e conduzindo-o para fora da área protegida, sendo remanejada ou até aproveitada para outros fins.

**TIPOS DE TERRACEAMENTO:**

→ **Terraços de armazenamento:** são aqueles construídos para reter a água nos canais e degraus. Assim, realizam a sua infiltração.

→ **Terraços de drenagem:** são aqueles em que a água é canalizada para outras localidades, sendo remanejada ou até aproveitada para outros fins, incluindo a irrigação.



👉 @nuesp\_ea\_alegeters

### *Barraginhas*

As barraginhas são pequenos reservatórios que possuem a forma de bacia, construídos nos terrenos, ou seja, é uma área escavada que tem como principal função a captação das enxurradas, por meio da coleta da água que escoa em excesso em propriedades rurais ou estradas vicinais e a recarga de água subterrânea. As barraginhas trazem diversos benefícios, por exemplo, a diminuição da erosão do solo, evitando a perda de nutrientes e a recarga do lençol freático, que aumenta o nível de água no interior do solo, contribuindo para a conservação de nascentes e de mananciais de água.

**Você conhece...  
Barraginhas?**

São tecnologias de baixo custo que contribuem para a recarga do lençol freático, preservam o solo e evitam erosões



👉 @salaverdecaparao

## *Sulco-camalhão*

Trata-se da construção do camalhão, que provoca a abertura de um sulco no solo. O camalhão constitui a zona de cultivo com solo mais profundo e sem compactação, e essa forma é ideal para o desenvolvimento radicular das culturas, e o sulco, além de ser utilizado para a irrigação e drenagem da lavoura, também é utilizado como zona de tráfego para o rodado das máquinas. Essa tecnologia pode ser implantada em pequenas e grandes propriedades, utilizando as ferramentas disponíveis. No caso do pequeno produtor, por exemplo, ele pode tentar reproduzir o “telhado”, fazer o preparo de toda a terra, passar uma grade e então fazer os camalhões, de modo que os sulcos fiquem no sentido da declividade da área, a fim de que a água excessiva corra por ali e vá embora.



👉 pipeBR

## *Valetas ou canaletas*

As canaletas ou valetas são localizadas ao longo das vias rurais com o objetivo de conduzir o volume de escoamento superficial e proteger as vias contra as forças das águas, fruto desse escoamento, que provocam os processos erosivos. Dessa forma, as canaletas ou valetas são componentes do sistema de drenagem longitudinal de superfície, que pode contar com diversas formas de seção transversal, normalmente executadas em concreto, alvenaria, pedra ou utilizando o próprio solo, permitindo a recolha das águas pluviais e superficiais de forma a evitar a erosão do solo.



Canaleta em concreto.



Canaleta em solo.

Fonte: Acervo do Projeto SanRural.

👉 Ruggeri Júnior e Souza (2022)

### *Cordões de pedras*

Feito a partir da abertura de um canal onde as pedras serão depositadas. O cordão de pedras retém sedimentos que seriam levados com a enxurrada. Ideal para locais onde não se é possível o uso de tração motora ou animal.



Barragem com sedimentos acumulados em mais de 1,10 m em 8 anos.



Efeito da retenção de sedimentos com ressurgimento da vegetação, após as chuvas.

👉 Oliveira et al. (2010)

### *Paliçadas (sacos de terra e/ou madeira)*

As paliçadas têm a função de quebrar a força da enxurrada e reter os sedimentos principalmente dentro da voçoroca. Normalmente são construídas com materiais de baixo custo e facilmente disponíveis, como bambu, pneus usados e sacos de rafia. Para maior eficiência dessas estruturas, deve-se escolher um local que apresente barrancos firmes e estáveis para que venha suportar a força que será exercida nas paliçadas através da enxurrada. Em seguida, se deve fazer canaletas tanto nas paredes laterais quanto no leito da voçoroca, de modo que a paliçada fique bem encaixada sem deixar brechas para a

passagem da água. A distância entre uma canaleta e outra indica o tamanho em que se deve cortar os bambus.

Para a montagem da paliçada, deve-se antes fincar estacas a cada metro de distância, onde os bambus serão empilhados e amarrados com arame. No caso de paliçadas de pneus, esses devem ser vestidos nas estacas, e posteriormente, enchidos com terra. As estacas podem ser do mesmo material, ou seja, estacas de bambu. Finalmente, colocar os sacos de rafia abertos e amarrados nos bambus ou pneus cobrindo toda a paliçada.



A: Representação de uma barreira revestida com sacos de rafia; B: representação de uma das barreiras com paliçadas de bambú e sacos de rafia servindo de escora; C: material fino retido nas barreiras de bambú.

Fonte: Silva (2008; 2010).

👉 Nardin et al. (2010)

### *Escadas de dissipação*

A escada de dissipação também é conhecida como escada hidráulica. É uma estrutura que direciona a água, permitindo que a velocidade de escoamento seja compatível com o material que o reveste. Essas escadas são construídas em concreto, mediante cálculo da altura das paredes, de forma que a água não transborde para as laterais. Dessa forma, a escada hidráulica de drenagem dissipa a energia de um curso de água quando é necessário direcionar a água para um nível mais baixo em curta distância. Ideal para regularizar a carga hidráulica de um curso d'água, permitindo que a velocidade de escoamento seja adaptável.



Vista lateral da construção da base da escada

Início do revestimento da base da escada

Vista superior da escada após o revestimento

Atlas das águas de Minas Gerais

### *Locação de estradas e caminhos rurais (de terra)*

Um dos fatores principais que causa a erosão nas áreas agrícolas são as estradas vicinais (estradas municipais não pavimentadas), tão importantes no escoamento da produção.

A má locação dessas estradas é responsável, muitas vezes, pelos mais graves problemas de erosão, pois faz com que a água da enxurrada acumule em determinados pontos e em grande volume, ganhando velocidade, o que aumenta o seu potencial erosivo. As estradas devem ser construídas de maneira a ficarem com declives suaves e ser localizadas procurando acompanhar os espigões. No caso de construção perpendicular aos espigões, os terraços (quando existirem) devem ser respeitados, acompanhando as elevações dos camalhões. É de fundamental importância, ainda, a construção de caixas de retenção (ou bacias de captação de água) laterais, que têm a função de segurar a água que escorre na estrada.

## **3.2 Vegetativas**

Como citado nesta unidade, o uso da cobertura vegetal é de extrema importância para a conservação do solo, evitando a erosão, principalmente causada pela água, seja pela gota da chuva ou pela enxurrada.

O uso das gramíneas é uma boa opção de cobertura vegetal, pois mantém a agregação do solo e melhora a infiltração de água, fornece matéria orgânica e nutrientes, favorece a atividade biológica e incorpora carbono no solo.

As leguminosas são outra ótima opção de cobertura vegetal, pois devido à fixação biológica de nitrogênio pode ser usada como adubo verde, melhorando a qualidade do solo.

## Cobertura verde

A cobertura verde é a cobertura vegetal viva sobre (parte aérea) e sob (raiz) o solo, que atua evitando a erosão. A parte aérea das plantas evita o impacto direto de agentes erosivos, como as gotas das chuvas. Devido às raízes dessa vegetação, há uma melhor absorção da água, diminuindo as enxurradas. Conforme a vegetação no local, há diminuição de plantas daninhas, aumento da matéria orgânica, da agregação e da descompactação do solo, melhorando diversas características físicas e biológicas do solo, resultando em uma melhor produtividade da área. As plantas usadas para essa finalidade são chamadas de plantas de cobertura, como podemos ver na postagem abaixo!



Você sabe o que são plantas de cobertura - também conhecidas como adubos verdes? De acordo com o engenheiro-agrônomo Lauro Krunwald, extensionista da Epagri de Atalanta, planta de cobertura pode ser qualquer espécie cultivada com o objetivo de melhorar as condições físicas, químicas e biológicas do solo.

O pesquisador Leandro do Prado Wildner, do Centro de Pesquisa para Agricultura Familiar (Epagri/Cepaf), acrescenta que essas plantas são semelhantes a qualquer espécie cultivada com fins comerciais. “O diferencial é que elas nascem, crescem, morrem e permanecem no mesmo lugar para beneficiar o local de produção e as plantas que serão cultivadas no seu lugar”.

👉 @epagri

## Cobertura morta

Também conhecida como palhada, a cobertura morta consiste nos restos das culturas anteriores que são conservados sobre o solo. O intuito é evitar a ação direta de agentes intempéricos no solo. Outros benefícios são a manutenção do solo úmido por mais tempo, por não receber radiação solar direta; a redução da germinação e desenvolvimento da vegetação espontânea; a regulação da temperatura do solo, com menor gradiente entre o dia e a noite; o aumento do teor de matéria orgânica no solo e da atividade microbiana. A seguir, visualize solos com diferentes taxas de cobertura morta.



### *Cordão vegetado*

Os cordões vegetados são também conhecidos por “franjas”, barreiras vegetadas, cercas vivas ou cordões de contorno vegetais e encontram-se cultivados em faixas nos locais onde pretende-se impedir enxurradas e aumentar a infiltração de água. É indicado para o cordão vegetado o uso de culturas perenes e de preferência com crescimento agressivo.



Modesto Júnior e Alves (2016)

Os cordões devem ter de 2 a 3 m de largura e podem constituir alternativa ao terraceamento, principalmente quando cultivados com espécies, como capim elefante, cana-de-açúcar ou feijão guandu, que podem quebrar a velocidade de escorrimento da enxurrada e favorecem a infiltração de água. Em solos arenosos, nos quais é difícil construir e manter um terraço, por serem muito soltos, o cordão de vegetação permanente pode ser vantajoso, sobretudo em pequenas áreas.

## Plantio em faixas

- Plantio em faixas de rotação: consiste no cultivo de várias culturas, cada uma em uma faixa diferente, onde é trocada a cultura de cada faixa ao decorrer dos anos, para que o solo tenha uma maior biodiversidade e circulação de nutrientes. Não é necessário que as faixas tenham mesma largura e profundidade de plantio.
- Plantio em faixa de retenção: nesse caso o dimensionamento da largura das faixas e o nivelamento do terreno para o plantio são necessários. A cultura mais densa dessa faixa de retenção evitará que as plantas das faixas de rotação sejam carregadas por enxurradas, por exemplo, portanto, devem ficar entre as faixas de rotação.



Modesto Júnior e Alves (2016)

## Consórcio de culturas

O consórcio de culturas é muito útil para pequenos produtores, onde podem aumentar e diversificar a produção de uma área sem a necessidade de expandi-la, além de ter um melhor proveito da água das chuvas, controle de plantas daninhas, maior cobertura de solo e todos os seus benefícios. Um consórcio comum é o de milho com braquiária, nele é usado uma cultura de porte maior e outra de porte menor para que não haja competição. A seguir temos outros exemplos de consórcios.



👉 Fontes e Martins (2022)

### *Alternância de capina*

Esse sistema de capina é utilizado nas “ruas” ou corredores formados entre as linhas das culturas. A capina é feita corredor sim, corredor não, podendo pular até 2 corredores, para diminuir a velocidade de escoamento e aumentar a infiltração da água, prevenindo assim as enxurradas e os processos erosivos.



👉 Isabella C. de Maria - IAC

### *Quebra ventos*

É um sistema aerodinâmico natural, ou seja, uma barreira vegetal que é usada para barrar as fortes ações do vento impedindo danos físicos nas plantas. A vegetação de porte mais alto é colocada em faixas com espaçamentos regulares e, assim a velocidade do vento é reduzida ao passar por essas áreas, protegendo o solo contra a erosão eólica e fazendo o controle do microclima da área protegida.



fundecitrus.com

### 3.3 Edáficas

São as práticas que objetivam melhorar a fertilidade e condições físico-hídricas do solo, para que as plantas consigam se desenvolver rapidamente, cobrindo o solo e protegendo-o de agentes erosivos. Assim, a ação contra a erosão é de forma indireta, atuando na melhoria das condições do solo, de sua estrutura, agregação, porosidade entre outros.

Nas práticas edáficas encontram-se processos como: calagem, gessagem adubação orgânica, adubação mineral, adubação verde, rotação de culturas, compostagem, controle de queimadas, ajustamento da capacidade de uso etc.



#### PARA REFLETIR

O solo é um recurso natural não renovável, pois a sua formação é muito lenta e a sua renovação está ligada ao ciclo das rochas. Assim, devemos sempre adotar medidas conservacionistas de produção agrícola, a fim de não perder o solo por erosão.

Estima-se que em 1 ha sob cultivo agrícola perde-se, em média, 25 toneladas de solo ao ano por erosão. É muita coisa! E essa perda representa dano econômico e ambiental. O dano econômico está relacionado à perda da camada fértil e, conseqüentemente, à redução na produtividade das culturas agrícolas. É na camada superficial dos solos que são depositados os resíduos orgânicos, corretivos e adubos, tornando-a parte de maior fertilidade. O dano ambiental está associado ao assoreamento dos rios e ao possível processo de eutrofização das águas.

As estratégias de conservação do solo devem estar sempre associadas à manutenção ou aumento do teor de matéria orgânica no solo, uma vez, que ela eleva a qualidade física,

química e biológica do solo, além de sequestrar carbono em formas estáveis. Logo, o manejo adequado dos solos melhora a qualidade do ar e da água!

Pense nisso e pratique sustentabilidade!



**Confira esse vídeo sobre o conteúdo desta Unidade!**

👉 Formação e evolução dos solos – processos erosivos

**Confira essas postagens sobre o conteúdo desta Unidade!**

👉 Tempo de formação vs. tempo de degradação do solo

👉 7 causas que levam à degradação do solo

👉 Solo compactado vs. solo estruturado

👉 Desertificação

👉 Deserto vs. desertificação

👉 Lixiviação vs. laterização

👉 Tipos de erosão

👉 Erosão hídrica e impactos ambientais

👉 Voçorocas

👉 Plantio direto vs. plantio convencional

👉 Recuperação de solos degradados

👉 Efeito da vegetação na proteção do solo contra erosão



**VERIFIQUE SUA APRENDIZAGEM**

1. Identifique as principais causas de degradação do solo.
2. Descreva os processos de degradação do solo.
3. Diferencie sistema de preparo convencional do solo, sistema de cultivo mínimo e sistema de plantio direto, identificando as vantagens e desvantagens de cada um.
4. Correlacione as diferentes práticas conservacionistas com os seus efeitos sobre o solo, as plantas e a água.

## REFERÊNCIAS

- ARRUDA, M. R. [et al.]. **Amostragem e cuidados na coleta de solo para fins de fertilidade**. Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 2014. 18 p. (Documentos, 115).
- BARRETO, C. F. [et al.]. **Sintomas visuais de deficiência nutricional em morangueiro**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 21 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 283).
- BEHLING, A. A. **Fatores condicionantes dos movimentos de massa no município de Agudo/RS**. 2017. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2017.
- BORIN, A. L. D. C. **Diagnose visual de deficiências nutricionais do algodoeiro**. Campina Grande, PB: Embrapa Gado de Corte, 2013. 11 p. (Circular Técnica, 134).
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Tradução de Igo Fernando Lepsch. 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013. 686 p.
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 13. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 958 p.
- BRANDÃO, D. S. [et al.]. **Química e fertilidade do solo**. Porto Alegre, RS: SAGAH, 2021. 305 p.
- BRITO, J. E.; ULLA, E. L. Microorganismos solubilizadores de fosfato en dos regiones agroecológicas de la provincia de Tucumán. **Revista Agronómica del Noroeste Argentino**, v. 32, n. 1-2, p. 31-40, 2012.
- BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura do milho**. In: Fundação MS. Tecnologia e Produção Soja e Milho 2011/2012. Maracaju, MS: Fundação, MS, 2012. p. 3-39.
- CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. **Microbiologia do solo**. 2. ed. Piracicaba, SP: ESALQ, 2016. 221 p.
- CARNEIRO, K. de A. A. [et al.]. **Manual de determinação de fósforo em solos arenosos: dinâmica de fósforo em condições tropicais**. Areias, PB: UFPB, CCA, DSER, PPGCS, 2018. 64 p.
- FERREIRA, M. M. M. Sintomas de deficiência de macro e micronutrientes de plantas de milho híbrido BRS 1010. **Revista Agro@ambiente On-line**, v. 6, n. 1, p. 74-83, 2012.
- FINKLER, R. [et al.]. **Ciências do solo e fertilidade**. Porto Alegre, RS: SAGAH, 2018. 240 p.
- FREEZE, A.; CHERRY, J. **Água subterrânea**. (1979). Tradução de Rafael Terada e Tiago Antonio Morais. Disponível em: <http://hydrogeologistswithoutborders.org/wordpress/1979-portugues/>.
- GIONGO, V.; CUNHA, T. J. F. **Manejo do solo**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2010. 19 p. (Sistemas de produção, 5).

HANSEL, F. D.; OLIVEIRA, M. L. de. **Importância dos micronutrientes na cultura da soja no Brasil**. Piracicaba, SP: IPNI, 2016. 21 p. (Informações Agronômicas, 153).

HUNGRIA, M. **Inoculação com *Azospirillum brasilense***: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina, PR: Embrapa Soja, 2011. 36 p. (Documentos, 325).

IAC. **Métodos de análise física de solos do Instituto Agronômico de Campinas**. Campinas, SP: IAC, 2021. 33 p. (Boletim Técnico Análise Granulométrica).

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2015. 430 p. (Manuais Técnicos em Geociências, 4).

IFRO. **Projeto Pedagógico do Curso Técnico em Agropecuária Integrado ao Ensino Médio do Campus Colorado do Oeste**: aprovado pela Resolução nº 17, de 09 de maio 2018. Porto Velho: CEPEX/IFRO, 2018.

KER, J. C. [et al.]. **Pedologia**: fundamentos. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. 343 p.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2019.

LIER, Q. J. V. **Física do solo baseada em processos**. Piracicaba, SP: Edição do autor, 2020.

LIMA, M. R. Noções de Morfologia do Solo. *In*: LIMA, V. C. [et al.]. **O solo no meio ambiente**. Curitiba, PR: UFPR, 2007. p. 17-26.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, R. **Guia de fertilidade do solo**. Lavras, MG: Universidade Federal de Lavras, 2004. 501 p. (Versão multimídia).

MACHADO, A. C. Z.; SILVA, S. A. da; Ferraz, L. C. C. B. **Métodos em nematologia agrícola**. Piracicaba, SP: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2019. 184 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo, SP: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, 2006. 631 p.

MARQUES, J. de S. **Adsorção de fósforo em Latossolo e Argissolo misturado com carbono pirolisado**. 2016. 42 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, AC, 2016.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Academic Press, London, 1986. 674 p.

MARTINS, A. M.; GUTJAHR, A. L. N.; BRAGA, C. E. S. Caracterização da fauna de Collembola em diferentes formações vegetais no município de Santa Bárbara, estado do Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 15, n. 2, p. 393-407, 2020.

- MAZURANA, M. [et al.]. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um Argissolo Vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 11, 2013.
- MAZURANA, M. **Atributos físicos, mineralógicos e matéria orgânica de solos relacionados à capacidade de suporte de carga**. 2011. 169 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- MESQUITA, C. M. de [et al.]. **Manual do café: manejo de cafezais em produção**. Belo Horizonte, MG: EMATER-MG, 2016. 72 p.
- MEYER, M. C. [et al.]. **Trichoderma: uso na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.
- MOLINA JUNIOR, W. F. **Comportamento mecânico do solo em operações agrícolas**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 2017.
- MOREIRA, A. [et al.]. **Cultivo e utilização de alfafa nos trópicos**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. p. 97-137.
- MOREIRA, F. M. S. [et al.]. **O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras, MG: UFLA, 2013.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. rev. e ampl. Lavras, MG: Editora UFLA, 2006. 729 p.
- NUNES, R. R. [et al.]. **Recursos solo: propriedades e usos**. São Carlos, SP: Universidade de São Paulo, 2015.
- OLIVEIRA JÚNIOR, A. de [et al.]. **Adubação potássica da soja: cuidados no balanço de nutrientes**. Piracicaba, SP: IPNI, 2013. 10 p. (Informações Agronômicas, 143).
- OSORIO, B. **Dinâmica de enxofre no sistema solo e resposta das culturas à adubação sulfatada**. 2006. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2006.
- PEREIRA, M. G. [et al.]. Formação e caracterização de Solos. In: LEONARDO, T. **Formação, classificação e cartografia dos solos**. Ponta Grossa, PR: Atena editora, 2019. p. 1-20.
- PEREIRA, M. G. [et al.]. **Práticas de morfologia e física do Solo**. Rio de Janeiro, RJ: UFRJ, 2020.
- PÉREZ, D. V.; BREFIN, M. de L. M.; POLIDORO, J. C. Solo, da origem da vida ao alicerce das civilizações: uso, manejo e gestão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p.i-iv, 2016.
- RALISCH, R. [et al.]. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo - DRES**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 64 p. (Documentos, 390).

- REIS, A. R. dos. [et al.]. **Papel fisiológico do níquel**: essencialidade e toxidez em plantas. Piracicaba, SP: IPNI, 2014. (Informações Agronômicas, 147).
- RESENDE, A. V. de. **Adubação com micronutrientes no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2003. 43 p. (Documentos, 80).
- RIBEIRO, K. D. [et al.]. Propriedades físicas do solo, influenciadas pela distribuição de poros, de seis classes de solos da região de Lavras, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 1167-1175, 2017.
- RODRIGUES, A. N. A. [et al.]. **Introdução de análise de solo e recomendação de adubação e calagem**. Porto Velho, RO, Embrapa Rondônia, 1998. 17 p.
- ROSA, H. de O. [et al.]. Caracterização de sintomas visuais de deficiência de micronutrientes em tomateiro do grupo salada. **Semina Ciências Agrárias**, v. 30, n. 4, p. 1093-1100, 2009.
- ROSOLEM, C. A. [et al.]. Dinâmica do potássio no solo e nutrição potássica da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 28, n. 9, p. 1045-1054, 1993.
- SANTOS, D. R.; GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade de fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema de plantio direto. **Ciência Rural**, v. 38, n. 2, p. 11, 2008.
- SANTOS, H. G. [et al.]. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SANTOS, R. D. dos [et al.]. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 102 p.
- SBCS. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre, RS: SBCS - Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.
- SCHOENEBERGER, P. J.; WYSOCKI, D. A.; BENHAM, E. C. (ed.). **Field book for describing and sampling soils**. Lincoln, NE: Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, 2011. 289 p.
- SILVA, A. C. [et al.]. Composição lignocelulósica e isotópica da vegetação e da matéria orgânica do solo de uma turfeira tropical. II - Substâncias húmicas e processos de humificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 134-144, 2013.
- SILVA, M. L. N. [et al.]. **Manejo e conservação de solo e da água**: guia de estudos. Lavras, MG: UFLA, 2015.
- SILVA, R. C. **Mecanização e manejo do solo**. São Paulo, SP: Érica, 2014.
- SOIL SURVEY STAFF. **Soil survey manual**. Washington, D.C.: Department of Agriculture, Soil Survey Division, Soil Conservation Service, 1993. (Agriculture Handbook, 18).

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília: EMBRAPA, 2004. 416 p.

TEIXEIRA, P. C. [et al.]. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

UNESP. Universidade Estadual Paulista. **Apostila de Nutrição Mineral de Plantas**. Jaboticabal, SP: UNESP, 2006. 291 p.

VIEIRA JÚNIOR, R. [et al.]. **Rizobactérias como agentes de controle biológico e promotores de crescimento de plantas**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2013. 15 p. (Documentos, 155).

YAZAKI, L. F. O.; MONTENEGRO, M. H. F.; COSTA, J. da. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal**. Brasília, DF: Adasa, Unesco. 2018. 329 p.

## APÊNDICES

### DATAS COMEMORATIVAS RELEVANTES NA ÁREA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

#### Internacionais

- 02/02 - Dia Mundial das Zonas úmidas
- 21/03 - Dia da Árvore (no hemisfério norte)
- 22/03 - Dia Mundial da Água
- 22/04 - Dia da Terra
- 22/05 - Dia Internacional da Biodiversidade
- 05/06 - Dia Mundial do Meio Ambiente
- 08/06 - Dia Mundial dos Oceanos
- 17/06 - Dia Mundial de Combate à Desertificação
- 07/07 - Dia Internacional da Conservação do Solo
- 28/07 - Dia Mundial da Conservação da Natureza
- 09/09 - Dia Mundial da Agricultura
- 16/09 - Dia Internacional de Preservação da Camada de Ozônio
- 21/09 - Dia da Árvore (no hemisfério sul)
- 12/10 - Dia Mundial para a Prevenção de Desastres Naturais e Dia do Mar
- 15/10 - Dia Internacional das Mulheres Rurais
- 16/10 - Dia Mundial da Alimentação
- 05/12 - Dia Mundial do Solo

#### Nacionais

- 11/01 - Dia do Combate da Poluição por Agrotóxicos
- 16/03 - Dia Nacional da Conscientização sobre as Mudanças Climáticas
- 15/04 - Dia Nacional da Conservação do Solo
- 28/04 - Dia da Caatinga
- 03/05 - Dia do Solo e do Pau-Brasil
- 05 ou 10/05 - Dia do Campo
- 27/05 - Dia da Mata Atlântica
- 17/07 - Dia da Proteção às Florestas
- 28/07 - Dia do Agricultor
- 05/09 - Dia da Amazônia
- 11/09 - Dia do Cerrado
- 03/10 - Dia Nacional da Agroecologia

12/11 - Dia do Pantanal

17/12 - Dia Nacional do Bioma Pampa

## **OUTRAS DATAS COMEMORATIVAS RELEVANTES**

### **Internacionais**

11/02 - Dia Internacional das Mulheres e Meninas na Ciência

09/08 - Dia Internacional dos Povos Indígenas

10/08 - Dia Internacional do Biodiesel

01/11 - Dia Mundial do Veganismo

10/11 - Dia Mundial da Ciência pela Paz

### **Nacionais**

01/03 - Dia do Turismo Ecológico

17/04 - Dia Nacional de Botânica

19/04 - Dia do Índio

11/08 - Dia do Estudante

15/10 - Dia do Consumo Consciente

05/11 - Dia do Técnico Agrícola

## **SOBRE AS AUTORAS**

**STELLA CRISTIANI GONÇALVES MATOSO** - Engenheira Agrônoma, Mestre em Produção Vegetal, Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia e Professora de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, *Campus* Colorado do Oeste.


**CELINA MARTINS ALMODÓVAR** - Acadêmica do Curso de Engenharia Agrônoma, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, *Campus* Colorado do Oeste.

**GEDRIERLI PABLINE SOUZA DA SILVA** - Acadêmica do Curso de Engenharia Agrônoma, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia, *Campus* Colorado do Oeste.

# FOCO

*no solo:*

Um guia didático e interativo  
para o ensino técnico

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# FOCO

*no solo:*  
Um guia didático e interativo  
para o ensino técnico

-  [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)
-  [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)