

PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA



SÉRIE MANUAIS DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA:
**VOL. 6 PRÁTICAS EDÁFICAS PARA CONSERVAÇÃO
DE SOLOS E RECURSOS HÍDRICOS**



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
E SANEAMENTO BÁSICO



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva

Presidente da República

Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional

Antônio Waldez Góes da Silva

Ministro

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Diretoria Colegiada

Veronica Sánchez da Cruz Rios (Diretora-Presidente)

Ana Carolina Argolo

Cristiane Collet Battiston

Larissa Oliveira Rêgo

Leonardo Góes Silva

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO
MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL



PROGRAMA
PRODUTOR DE ÁGUA
SÉRIE MANUAIS DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA
**VOL. 6 PRÁTICAS EDÁFICAS PARA CONSERVAÇÃO
DE SOLOS E RECURSOS HÍDRICOS**

BRASÍLIA – DF
ANA
2025

© 2025 Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)

Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Edifício Sede, Bloco M
CEP: 70610-200, Brasília/DF
Telefone: (61) 2109-5400 / 5252
Endereço eletrônico: <https://www.gov.br/ana/pt-br>

Comissão de Editoração

Joaquim Gondim (Coordenador)
Humberto Cardoso Gonçalves
Ana Paula Fioreze
Mateus Monteiro de Abreu (Secretário-Executivo)

Coordenação e Elaboração

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Nazareno Marques de Araújo
Superintendente de Planos, Programas e Projetos

Henrique Pinheiro Veiga
Superintendente Adjunto de Planos, Programas e Projetos

Carolina Arantes
Coordenadora da Superintendência de Planos, Programas e Projetos

Coordenação Geral

Henrique Pinheiro Veiga

Coordenação de Conservação e Uso Sustentável da Água

Consuelo Franco Marra
Cristianny Villela Teixeira
Eliane Meire de Souza Araújo
Luis Augusto Preto
Priscila Passos Barreto Costa
Rossini Ferreira Matos Sena
Vera Maria da Costa Nascimento

Revisão projeto gráfico e capa

Nageysiel da Silva Pires

Diagramação

Jadson Nobre da Silva

Foto da capa

Plantação, mata ciliar, casas com piscina e reservatório às margens do rio Moji-Guaçu (ou Mogi-Guaçu) em Jacutinga (MG).
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

Esta publicação é resultante de uma ação no âmbito do Projeto de Cooperação Técnica entre o Governo Brasileiro e o Instituto Interamericano de Cooperação – PCT BRA/IICA/18/001 - Gestão de Recursos Hídricos - Apoio a Implementação de Ações dos Planos de Recursos de Hídricos de Bacias Interestaduais-, da equipe técnica do Programa Produtor de Água da ANA e de projetos parceiros do Programa.

Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução de dados e de informações contidas nesta publicação, desde que citada a fonte.

Catálogo na fonte: Divisão de Biblioteca/CEDOC

A265p

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil).
Práticas edáficas para conservação de solos e recursos hídricos /
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. – Brasília : ANA, 2025.
94 p. : il. – (Série Manuais do Programa Produtor de Água ; v. 6)

ISBN: 978-65-88101-82-7

1. Bacias Hidrográficas - Revitalização. 2. Água – Conservação. 3. Solos.
4. Meio Ambiente. I. Título. II. Série.

CDU 502.13(035)

Elaborada por Fernanda Medeiros – CRB-1/1864

Lista de Figuras

Figura 1 - Representação do salpicamento, momento do impacto da gota de chuva quando atinge o solo, causando desprendimento de partículas menores.	22
Figura 2 - Representação comparativa do efeito das práticas edáficas no controle da erosão: à esquerda uma área hipotética onde foi realizada a calagem e adubação, além de plantio direto; à direita uma área onde o solo não foi corrigido nem adubado e foi realizado plantio convencional.	25
Figura 3 - Principais equipamentos e procedimentos de coleta de coleta de solo.	27
Figura 4 - Divisão da propriedade em glebas homogêneas.	28
Figura 5 - Trecho do Boletim onde mostra a recomendação de adubação de base (adubação de plantio) para a cultura do milho.	47
Figura 6 - Matriz de decisão de recuperação ou renovação da pastagem de acordo com a fertilidade do solo e o estande de plantas forrageiras.	58
Figura 7 - Passo a passo para a renovação da pastagem.	59
Figura 8 - Recomendação de adubação para plantios de recomposição florestal na Mata Atlântica.	61
Figura 9 - Chave de classificação para determinação do nutriente limitante em função dos sintomas de deficiência.	63
Figura 10 - Etapas do planejamento dos ciclos de rotação.	73
Figura 11 - Principais etapas para a implantação do plantio direto na propriedade.	76
Figura 12 - Representação da criação de um aceiro na divisa da propriedade, deixando uma faixa livre de material combustível para prevenção de incêndios.	81
Figura 13 - Representação da dinâmica da matéria orgânica no solo após a implementação do plantio direto.	88

Lista de Fotos

Foto 1 - Deposição do solo erodido em estrada adjacente à área de agricultura, em Capela do Alto (SP), 2016.....	22
Foto 2 - Erosão laminar em pastagem, em Itai (SP), 2016.....	23
Foto 3 - Erosão em sulco em área de agricultura sem cobertura de solo, em Sorocaba (SP), 2016....	23
Foto 4 - Área intensamente degradada por voçoroca, onde a severidade da erosão impossibilita a prática de atividades agrícolas, em Pedra do Indaiá/MG, 2009.....	24
Foto 5 - Teste de mão para verificar a umidade do composto: esquerda = muito seco; centro = muito úmido; direita = umidade adequada	54
Foto 6 - Pilhas de compostagem no formato de cone em locais cobertos e com espaço entre si para que seja possível o revolvimento, em Brasília (DF), 2024.....	55
Foto 7 - Evolução do processo de compostagem: à esquerda os materiais ainda são grandes, o que demonstra o início do processo; à direita os materiais estão menores, indicando um processo avançado, em Brasília (DF), 2024	56
Foto 8 - Pastagem degradada evidenciando grande quantidade de solo exposto, em Itai (SP), 2016.....	57
Foto 9 - Feijão-guandu utilizado como adubo verde em área de pousio temporário para recuperação de solo para posterior implantação de sistema agroflorestal, em Piedade (SP), 2019	67
Foto 10 - Milheto utilizado como adubo verde em rotação com culturas anuais no Cerrado, na bacia hidrográfica do rio Pípiripau (DF), 2024	69
Foto 11 - Nabo forrageiro utilizado como adubo verde em rotação com hortaliças, em Brasília (DF), 2024	72
Foto 12 - Cobertura do solo de alta qualidade, destacada pela espessura da palhada de milho que cobre a superfície, em área de plantio direto em uma propriedade do Projeto Pípiripau, em Brasília (DF), 2024.....	75
Foto 13 - Uso do milheto como adubo verde e parte da rotação de culturas em sistema de plantio direto em áreas de Cerrado, na bacia hidrográfica do Rio Pípiripau (DF), 2024	76
Foto 14 - Palhada de trigo em área de plantio direto no Cerrado. Apesar da menor quantidade de palhada, a topografia plana e a cobertura uniforme minimizam os riscos de erosão, na bacia hidrográfica do rio Pípiripau (DF), 2024	78
Foto 15 - Área com grande quantidade de palhada: o produtor vai entrar com triturador de palhada antes do plantio de soja de verão, na bacia hidrográfica do rio Pípiripau (DF), 2024.....	79
Foto 16 - Resultado da criação de um aceiro com enxada durante o combate ao incêndio, em Três Lagoas (MS), 2010.....	82
Foto 17 - Abafador para controle de incêndio	83
Foto 18 - Bomba costal para controle do incêndio	83
Foto 19 - Anel duplo instalado e preenchido com água, em Sorocaba (SP), 2018.....	90

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Características dos macro e micronutrientes nos solos.	31
Tabela 2 - Parâmetros químicos da análise de solo e seus significados.	32
Tabela 3 - Principais características das classes texturais dos solos.	33
Tabela 4 - Principais fontes de informação para interpretação da análise do solo em diversas regiões do Brasil.	34
Tabela 5 - Classes de interpretação da disponibilidade de potássio (K, mg/dm ³) no solo.	35
Tabela 6 - Classes de interpretação da disponibilidade de fósforo (P, mg/dm ³) no solo de acordo com a textura do solo.	35
Tabela 7 - Comparação entre os principais corretivos agrícolas.	36
Tabela 8 - Saturação por bases desejada (V2) para algumas culturas.	39
Tabela 9 - Metodologias para recomendação de dose de gesso agrícola.	41
Tabela 10 - Análise comparativa da intensidade da resposta da adubação mineral, orgânica e organomineral em diferentes indicadores de manejo. A quantidade de símbolo "+" reflete a intensidade da resposta de cada tipo de adubação.	44
Tabela 11 - Recomendações sobre a Época Certa e consequências da aplicação de fertilizantes em condições adversas de clima e solo.	45
Tabela 12 - Diretrizes gerais sobre o Local Certo da adubação de acordo com o tipo e fase da cultura.	45
Tabela 13 - Composição de alguns materiais usados em compostagem.	52
Tabela 14 - Mobilidade dos nutrientes na planta e local onde aparecerem os sintomas de deficiência.	62
Tabela 15 - Principais sistemas de cultivo de adubos verdes, seus benefícios para o sistema e alguns exemplos.	68
Tabela 16 - Métodos de manejo da biomassa de adubos verdes: características, equipamentos, vantagens e desvantagens.	69
Tabela 17 - Critérios essenciais na escolha de culturas para rotação.	71
Tabela 18 - Exemplos de esquemas de rotação de culturas para diferentes sistemas de produção.	72
Tabela 19 - Frequência recomendada de coleta e análise de solo de acordo com o tipo de cultura, profundidade de coleta e tipo de análise de solo.	87

Lista de Siglas

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
MAP	Fosfato Monoamônico
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
SBCS	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
SMP	Método de Análise de Acidez do Solo

Sumário

	APRESENTAÇÃO	16
1	INTRODUÇÃO	17
1.1	O Programa Produtor de Água	17
1.2	Histórico	18
1.3	Manuais do Programa Produtor da Água	20
2	EROSÃO DE SOLOS	21
2.1	Processo de erosão	21
2.2	Formas de erosão	23
2.3	Suscetibilidade à erosão	24
2.4	Controle da erosão	24
3	AMOSTRAGEM DE SOLO	26
3.1	Equipamentos	26
3.2	Época de amostragem.....	27
3.3	Divisão da propriedade	28
3.4	Profundidade	28
3.5	Número de amostras	28
3.6	Procedimento de campo.....	29
3.7	Preparo das amostras.....	29
4	INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE SOLO	30
4.1	Tipos de análise de solo.....	30
4.2	Textura do solo	32
4.3	Fontes de informação por região	33
4.4	Interpretação dos teores	34
5	CORREÇÃO DO SOLO.....	36
5.1	Corretivos agrícolas.....	36
5.2	Métodos de recomendação de calagem.....	36
5.3	Época de aplicação	39
5.4	Profundidade de aplicação.....	39
5.5	Gessagem	40
6	ADUBAÇÃO	43
6.1	Tipos de adubo	43
6.2	Boas práticas.....	44
6.3	Recomendação de adubação.....	46
6.4	Recomendação de adubação orgânica	49
6.5	Compostagem	51
6.6	Recuperação de pastagens degradadas.....	56

6.7	Adubação em áreas de recomposição florestal	60
7	AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE PLANTAS.....	62
7.1	Métodos de avaliação do estado nutricional.....	62
7.2	Recomendações de manejo	65
7.3	Recomendações de adubação foliar	65
8	ADUBAÇÃO VERDE	67
8.1	Sistema de cultivo	67
8.2	Manejo da biomassa	69
9	ROTAÇÃO DE CULTURAS	70
9.1	Crerios para escolha das culturas na rotaçaõ.....	70
9.2	Esquemas de rotaçaõ de culturas.....	71
9.3	Planejamento dos ciclos de rotaçaõ	73
10	PLANTIO DIRETO.....	75
10.1	Preparaçaõ para implantaçaõ do plantio direto	76
10.2	Manejo da palhada.....	77
11	CONTROLE DE QUEIMADAS.....	80
11.1	Monitoramento do risco de incêndio	80
11.2	Aceiros e barreiras naturais	81
11.3	Equipamentos para controle de incêndio.....	82
11.4	Queima de resíduos em propriedades rurais	84
12	MANUTENÇAõ DAS PRÁTICAS E MONITORAMENTO DOS RESULTADOS DE QUALIDADE DOS SOLOS	86
12.1	Fertilidade do solo.....	86
12.2	Matéria orgânica do solo.....	87
12.3	Compactaçaõ do solo.....	89
12.4	Infiltraçaõ de água.....	90
13	PRÁTICAS EDÁFICAS NO CONTEXTO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	91
	REFERÊNCIAS	92

Abaixo, seguem os sumários dos demais volumes que compõem a Série Manuais do Programa Produtor de Água:

Vol. 1 – Estruturação de Projetos

	APRESENTAÇÃO.....	15
1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	O Programa Produtor de Água.....	16
1.2	Histórico.....	17
1.3	Manuais do Programa Produtor da Água.....	18
2	BASES CONCEITUAIS DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA.....	20
2.1	Contribuição do Programa Produtor de Água para segurança hídrica.....	20
3	ETAPAS PARA IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA.....	21
3.1	ETAPA 1 – Identificação de um problema a ser enfrentado	21
3.2	ETAPA 2 – Mobilização e reunião com os parceiros.....	22
3.3	ETAPA 3 – Diagnóstico socioambiental.....	23
3.4	ETAPA 4 – Estabelecimento do sistema de parceria e de criação da Unidade de Gestão do Projeto	28
3.5	ETAPA 5 – Valoração dos serviços ambientais	30
3.6	ETAPA 6 – Elaboração dos projetos individuais de propriedade (PIPs).....	38
3.7	ETAPA 7 – Implementação das intervenções em campo	40
3.8	ETAPA 8 – Realização dos Pagamentos pelos Serviços Ambientais	41
3.9	ETAPA 9 – Monitoramento e avaliação do projeto.....	41
3.10	ETAPA 10 – Capacitação, comunicação e divulgação.....	49

Vol. 2 – Diagnóstico no Programa Produtor de Água

	APRESENTAÇÃO	17
1	INTRODUÇÃO	18
1.1	O Programa Produtor de Água	18
1.2	Histórico	19
1.3	Manuais do Programa Produtor de Água	21
2	O DIAGNÓSTICO NO CONTEXTO DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA	22
2.1	Objetivos do Diagnóstico	22
3	ASPECTOS METODOLOGICOS GERAIS	25
3.1	Avaliação da Estrutura Disponível	25
3.2	Parcerias Institucionais	26
3.3	Participação e Engajamento das Partes Interessadas	27
3.4	Levantamento de Dados Secundários	27
3.5	Levantamento de Dados Primários	28
3.6	Análises e Modelagem em Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	28
3.7	Priorização de Áreas	29
4	PRODUTOS DO DIAGNÓSTICO	30
5	METODOLOGIAS PARA O DIAGNÓSTICO - ASPECTOS FÍSICOS	31
5.1	Delimitação da Bacia Hidrográfica	31
5.2	Rede de Drenagem	31
5.3	Recursos Hídricos – Qualidade da Água	35
5.4	Recursos Hídricos – Quantidade de Água	40
5.5	Solo	44
5.6	Relevo	48
6	METODOLOGIAS PARA O DIAGNÓSTICO - ASPECTOS BIÓTICOS	53
6.1	Biodiversidade	53
7	METODOLOGIAS PARA O DIAGNÓSTICO - ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS	58
7.1	Uso do solo e cobertura da terra	58
7.2	Estrutura Fundiária	63
7.3	Densidade Populacional	68
7.4	Atividades Econômicas	72
7.5	Organização Comunitária	74
7.6	Educação Ambiental	77
7.7	Saúde Pública	78
8	EXEMPLOS DE DIAGNÓSTICOS DO PRODUTOR DE ÁGUA	80
8.1	Ribeirão Araras	80
8.2	Microbacia Morro da Palha	82

8.3	Rio Vermelho	84
8.4	Rio Mosquito	84
8.5	Alto Descoberto	87
8.6	Ribeirão Lajeado	90
8.7	Barracão dos Mendes PRISMA CEIVAP	92
8.8	Ribeirão Pipiripau	94
9	DO DIAGNÓSTICO AO PLANO DE AÇÃO E MONITORAMENTO	97
9.1	Custos estimados	97
9.2	Estratégia de mobilização e comunicação	97
10	CONCLUSÃO	98
	REFERÊNCIAS	99
	ANEXO - TERMO DE REFERÊNCIA PARA CONTRATAÇÃO DE PESSOA JURÍDICA PARA ELABORAÇÃO DE DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL	101

Vol. 3 – Elaboração de Projeto Individual de Propriedade

	APRESENTAÇÃO.....	16
1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	O Programa Produtor de Água.....	17
1.2	Histórico.....	18
1.3	Manuais do Programa Produtor de Água.....	20
2	O PROJETO INDIVIDUAL DE PROPRIEDADE (PIP)	21
2.1	O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)	23
3	PLANEJANDO O PROJETO INDIVIDUAL DE PROPRIEDADE	24
3.1	Etapas prévias à elaboração do PIP	24
3.2	Definições das regras e critérios para o projeto e sua relação com o PIP.....	26
3.3	Requisitos técnicos e infraestrutura tecnológica.....	34
4	ELABORANDO O PIP.....	43
4.1	Etapa 1 – Caracterização e diagnóstico da propriedade.....	45
4.2	Etapa 2 – Geoprocessamento e elaboração dos mapas	52
4.3	Etapa 3 – Cálculo dos valores do PSA	71
4.4	Etapa 4 – Preenchimento do PIP.....	72
4.5	Etapa 5 – Apresentação e negociação do PIP	73
4.6	Etapa 6 – Elaboração do PIP Pactuado	75
4.7	Assinatura de contrato e pagamentos	76
4.8	Implementação das intervenções e monitoramentos	78
	REFERÊNCIAS	80
	ANEXO A – MODELO DE PROJETO INDIVIDUAL DE PROPRIEDADE.....	82
	ANEXO B – MODELO DE TERMO DE REFERÊNCIA PARA CONTRATAÇÃO DE SERVIÇOS DE ELABORAÇÃO DE PIPS.....	91

Vol. 4 – Práticas Vegetativas para Conservação de Solos e Recursos Hídricos

	APRESENTAÇÃO.....	16
1	INTRODUÇÃO.....	17
1.1	O Programa Produtor de Água.....	17
1.2	Histórico.....	18
1.3	Manuais do Programa Produtor de Água.....	20
2	O PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA.....	21
3	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL APLICADA ÀS PROPRIEDADES RURAIS.....	22
3.1	Áreas de Preservação Permanente.....	22
3.2	Recomposição das Áreas de Preservação Permanente.....	23
3.3	Reserva Legal.....	25
3.4	Regularização da Reserva Legal.....	26
4	O QUE SÃO AS PRÁTICAS VEGETATIVAS PARA CONSERVAÇÃO DOS SOLOS E RECURSOS HÍDRICOS?.....	28
5	PRÁTICAS VEGETATIVAS PARA ÁREAS PRODUTIVAS.....	29
5.1	Sistema de plantio direto.....	29
5.2	Rotação de culturas.....	29
5.3	Plantas de cobertura.....	29
5.4	Culturas em faixas.....	29
5.5	Cordões de vegetação permanente.....	30
5.6	Alternância de capinas.....	31
5.7	Ceifa do mato.....	31
5.8	Cobertura morta (mulch).....	32
5.9	Faixas de bordadura e quebra-ventos.....	32
5.10	Sistemas de integração.....	33
5.11	Sistemas agroflorestais.....	35
5.12	Pastejo rotacionado.....	37
6	PRÁTICAS VEGETATIVAS PARA RECOMPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA (APP E RESERVA LEGAL).....	40
6.1	Escolha das estratégias de recomposição da vegetação.....	42
6.2	Estratégias para recomposição da vegetação nativa.....	44
6.3	Preparo inicial da área para implantação dos métodos de recomposição.....	49
6.4	Plantio de mudas.....	52
6.5	Semeadura direta.....	56
6.6	Produção de sementes e mudas.....	59
6.7	Monitoramento das áreas em recomposição.....	59
7	PRÁTICAS VEGETATIVAS PARA ESTABILIZAÇÃO DE MARGENS DE RIOS E VOÇOROCAS.....	61

7.1	Técnicas de Engenharia Natural	61
	REFERÊNCIAS	66
	ANEXO A - TERMO DE REFERÊNCIA – PLANTIO DE MUDAS PARA RECOMPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA	68
	ANEXO B - MODELO DE MONITORAMENTO PARA ÁREAS EM PROCESSO DE RECOMPOSIÇÃO, PROPOSTO POR (BRANCALION ET AL., 2013).....	80
	ANEXO C - ESTIMATIVA DE CUSTOS MÍNIMOS DE RECOMPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA NOS BIOMAS BRASILEIROS, DE ACORDO COM A PORTARIA IBAMA 118 DE 03 DE OUTUBRO DE 2022.	83

Vol. 5 – Práticas Mecânicas para Conservação de Solos e Recursos Hídricos

	APRESENTAÇÃO	18
1	INTRODUÇÃO	19
1.1	O Programa Produtor de Água	19
1.2	Histórico	20
1.3	Manuais do Programa Produtor de Água	22
2	DIRETRIZES TÉCNICAS GERAIS.....	23
2.1	Aspectos Legais	23
2.2	Aspectos Técnicos Gerais.....	24
3	PRÁTICAS MECÂNICAS DE CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA.....	31
3.1	Barraginha.....	31
3.2	Terraceamento e Microterraceamento	44
3.3	Subsolagem e Escarificação.....	60
3.4	Escoamento Superficial Difuso	72
4	CONTROLE DE PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREAS DEGRADADAS	81
4.1	Bioengenharia.....	81
4.2	Integração de Práticas	86
5	RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ESTRADAS RURAIS VICINAIS	90
5.1	Degradação das Terras Associada às Estradas Rurais Vicinais	90
5.2	Principais Defeitos nas Estradas Rurais Vicinais	90
5.3	Premissas Gerais Associadas aos Projetos de Melhoria de Estradas	91
5.4	Medidas para Evitar, Mitigar e Compensar Impactos Ambientais.....	92
5.5	Serviços de Manutenção em Estradas Municipais.....	113
	REFERÊNCIAS	117
	ANEXO - TERMO DE REFERÊNCIA – TR.....	121

APRESENTAÇÃO

É com muita satisfação que apresentamos o sexto volume da série de manuais sobre os diversos aspectos que envolvem a metodologia do Programa Produtor de Água, que se destina a promover a conservação de recursos hídricos no meio rural, favorecendo a segurança hídrica.

O Programa foi concebido há pouco mais de vinte anos e apoiou técnica e financeiramente a estruturação de projetos de conservação de água e solo em várias regiões do Brasil. Os projetos apoiados possuem arranjos institucionais específicos de modo a considerar as particularidades locais e regionais, sempre buscando contribuir com a melhoria da disponibilidade hídrica, em termos de quantidade e qualidade, por meio de ações voltadas para a revitalização de bacias hidrográficas.

As experiências adquiridas com o apoio aos projetos proporcionaram as condições necessárias para a elaboração desta série de manuais. Com conteúdos voltados para elaboração de novos projetos, implantação de práticas vegetativas, mecânicas e edáficas, bem como para a realização de diagnóstico e elaboração de projetos individuais de propriedades rurais, estes manuais mantêm-se fiéis às linhas e diretrizes do Produtor de Água.

Seguindo o que está contido nestes manuais, os interessados terão as bases para a estruturação e implementação de projetos e práticas convergentes com o Programa Produtor de Água e poderão usufruir, tanto dos modelos aqui apresentados, quanto dos demais manuais que compõem a série Manuais do Programa Produtor de Água.

Na oportunidade agradecemos a contribuição de todos que se envolveram com este Programa e reconhecemos que este trabalho somente foi possível por contar com os parceiros que, localmente, conduzem os projetos e trazem as grandes contribuições para a melhoria da qualidade e para o aumento da oferta de água nos mananciais trabalhados.

Boa leitura!

Diretoria Colegiada da ANA

1 INTRODUÇÃO

Criada pela Lei nº 9.984/2000, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) é a agência reguladora responsável por implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), e por instituir normas de referência para os serviços de saneamento básico (Lei nº 14.026/2020). De acordo com o seu Planejamento Estratégico 2023-2026, a missão da ANA é garantir a segurança hídrica para o desenvolvimento sustentável do Brasil e contribuir para a universalização do saneamento básico.

Para a consecução dos seus objetivos, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) tem como diretriz a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e a articulação com as políticas do uso do solo. Entre outras atribuições, cabe à ANA propor, elaborar, implementar e coordenar projetos e ações de estímulo à conservação de água e solo, inclusive com incentivos financeiros. Com base nisto, em 2001, a instituição decidiu avaliar a possibilidade de implementar um programa voltado à disseminação de modelos eficientes de conservação de recursos hídricos nas bacias hidrográficas brasileiras.

1.1 O Programa Produtor de Água

Estudos conduzidos pela equipe ANA, quando de sua criação, constataram que um dos grandes problemas que afetavam a qualidade da água nas bacias hidrográficas brasileiras estava associado a processos de degradação do solo e, que os programas agroambientais mais eficientes eram os que consideravam: a gestão baseada em parcerias; os efeitos ambientais que extrapolam os limites das propriedades; e a adoção de incentivos financeiros proporcionais aos benefícios ambientais gerados ao longo do tempo, fundamentados no princípio do “provedor-recebedor”. Nascia, assim, o Programa Produtor de Água, que busca contribuir com a segurança hídrica por meio do estabelecimento de parcerias para o desenvolvimento de projetos locais que promovam a adoção de práticas de conservação de água e solo no meio rural, associados, preferencialmente, ao Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).

As matas ciliares e os remanescentes de vegetação nativa são de grande importância para a proteção dos recursos hídricos. No entanto, em boa parte das bacias hidrográficas brasileiras, predomina o uso e ocupação por atividades produtivas, o que exige que qualquer planejamento que vise a revitalização e conservação do território considerem simultaneamente a relevância dessas áreas para a produção de alimentos, energia e para a conservação de água e solo.

Assim, a revitalização de bacias hidrográficas, realizada no âmbito do Programa, tem como princípio a busca pelo equilíbrio entre produção agrícola e a conservação ambiental. No Programa Produtor de Água, o planejamento das intervenções nas propriedades considera o sistema atual de produção, respeitando as particularidades e necessidades de cada produtor rural. É no meio rural, portanto, que as ações do Programa são conduzidas. Essa perspectiva nos leva às seguintes definições:

Definição do Programa Produtor de Água

O **Programa Produtor de Água** é uma ação da ANA destinada a promover a conservação de recursos hídricos no meio rural, visando segurança hídrica.

Definição de um Projeto Produtor de Água

Um Projeto Produtor de Água pode ser definido como o conjunto de ações planejadas e coordenadas por arranjo institucional local, visando a revitalização de bacias hidrográficas, sob diretrizes estabelecidas pelo Programa Produtor de Água.

Embora os projetos que integram o Programa sigam diretrizes gerais estabelecidas pela ANA, cada iniciativa possui ampla autonomia para definir seu próprio regulamento. Isso significa que podem apresentar grande diversidade em suas ações de campo, bem como nas metodologias utilizadas para a valoração dos serviços ambientais. Essa autonomia na definição das formas de atuação constitui um dos pilares do Programa, permitindo que gestores locais se sintam plenamente responsáveis pela condução dos projetos e pela apropriação de seus resultados. O Programa preconiza, ainda, que os novos projetos incorporem as experiências dos mais antigos, com a possibilidade de aprimoramento contínuo. Isso tem resultado em projetos cada vez mais modernos, justos, eficientes e com menores custos de transação.

Conforme Resolução ANA nº 180, de 18 de janeiro de 2024, que aprovou as novas Diretrizes do Programa, para que um projeto possa ser reconhecido como integrante do Programa Produtor de Água, é necessário cumprir os requisitos abaixo apresentados.

Requisitos a serem atendidos pelos projetos:

Requisitos obrigatórios	Requisitos desejáveis
<ul style="list-style-type: none"> • Bacia hidrográfica como unidade de gestão e planejamento. • Diagnóstico socioambiental prévio da bacia, sempre associado aos planos de bacia, onde houver. • Atuação no âmbito da propriedade rural. • Adesão voluntária dos produtores rurais. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estruturação técnica, financeira e de gestão por meio de parcerias institucionais. • Diversificação e complementaridade das intervenções em campo. • Estímulo às práticas sustentáveis de produção. • Uso do Pagamento por Serviços Ambientais como estratégia de permanência das intervenções em campo. • Plano de monitoramento de resultados e comunicação.

1.2 Histórico

Desde o ano de 2005, o Programa tem induzido, em todo o Brasil, a implantação de projetos de revitalização de bacias, disseminando os conceitos e a aplicação de práticas conservacionistas com efeito indutor e contribuindo com a melhoria dos serviços ecossistêmicos e com o aumento da resiliência local frente aos eventos hidrológicos críticos, cada vez mais frequentes em função das mudanças do clima. O uso dos recursos da cobrança, bem como a sua aplicação em áreas particulares no âmbito dos projetos apoiados pelo Programa, foi objeto de verificação e aprovação quanto à legalidade e pertinência. O Programa demonstrou, desde sua concepção, ter grande potencial de atratividade, capaz de agregar diversos parceiros e de captar significativos recursos financeiros para a execução das ações. Da mesma forma, despertou imediato interesse em veículos de imprensa, da comunidade científica e na sociedade em geral, tendo em vista que se tratava da primeira iniciativa de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) no Brasil.

O fato de o Programa ser de adesão voluntária, com foco no produtor rural, prezando pela harmonia entre produção agrícola e a conservação ambiental nas propriedades rurais, contribuiu para o sucesso observado. Além disso, o Programa Produtor de Água apoia a execução descentralizada, na qual parceiros locais desempenham papel protagonista. Este aspecto despertou maior disposição por

parte de estados, municípios e organizações ambientais, na criação de projetos com maior capacidade de superar eventuais dificuldades ou entraves técnicos, políticos ou administrativos.

As expectativas da ANA confirmaram-se logo na fase inicial de funcionamento do Programa. Um exemplo emblemático é o ocorrido nas bacias hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ). Com o início da cobrança pelo uso da água nessas bacias, viabilizou-se a destinação de parte dos recursos arrecadados para o financiamento do Programa. Assim, em 2006, foi iniciada a primeira experiência prática do Programa Produtor de Água, em Extrema (MG). Diversos parceiros uniram-se à ANA na gestão do projeto, como a Secretaria de Meio Ambiente de São Paulo, a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI-SP), a The Nature Conservancy – TNC, a Prefeitura Municipal de Extrema e a Agência das Bacias PCJ.

Em 2009, foi lançada a primeira versão do Manual Operativo do programa, no qual a ANA manifestava a possibilidade de que os interessados apresentassem seus projetos através de demandas espontâneas. Em vários casos, os projetos tinham interesse apenas na implantação de ações de conservação de água e solo, mas careciam de arranjos de governança e de previsão de PSA. Quando considerado cabível e havendo disponibilidade de recursos, a ANA prestava apoio técnico e até mesmo financeiro. O foco do Programa, nesta fase, foi buscar um efeito demonstrativo, ampliar sua capilaridade e alcançar resultados concretos das ações de intervenção em nível de propriedade rural – especialmente na redução do aporte de sedimentos às calhas de rios e aumento dos volumes de recarga hídrica.

A partir de 2013, com a publicação da segunda versão do Manual Operativo, por meio da Portaria ANA nº 196, de 30 de agosto de 2013, a ANA manteve o atendimento a demandas espontâneas em áreas estratégicas para a obtenção do efeito demonstrativo desejado, passando também a realizar chamamentos públicos, por meio de editais, para seleção de projetos a serem reconhecidos e/ou apoiados, inclusive com aporte financeiro.

Como resultado dessa primeira fase do Programa Produtor de Água, aproximadamente 200 (duzentas) iniciativas foram trazidas à ANA, das quais, nos anos seguintes, mais de 60 (sessenta) projetos foram implantados, em todas as regiões brasileiras.

A partir das experiências acumuladas na primeira fase do Programa, alguns aspectos foram detectados e diagnosticados pela equipe da ANA, bem como por estudos e pesquisas externas, como prováveis causas de maior sucesso de determinados projetos em relação a outros. Esse conhecimento permitiu estabelecer cenários mais fidedignos sobre as demandas prioritárias dos atores interessados em implantar projetos.

Diante da experiência adquirida e da crescente demanda por apoio a novos projetos, consolidou-se o entendimento de que o Programa atingiu maturidade, relevância e efeito demonstrativo suficientes para ser conduzido de forma ainda mais descentralizada, com o protagonismo de comitês de bacias hidrográficas, agências de água e órgãos estaduais de recursos hídricos, alinhando-se às ações prioritárias previstas nos planos de bacias.

A partir da Resolução ANA nº 180, de 18 de janeiro de 2024, que aprovou as novas Diretrizes do Programa, a ANA passou a priorizar o apoio às instâncias do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) na condução da implantação e acompanhamento de projetos em áreas prioritárias definidas nos planos de bacia. Para isso, a Agência reforçará suas estratégias de capacitação, de apoio institucional, de divulgação de resultados, de reconhecimento e integração de iniciativas exitosas e de busca por parceiros e fontes para o aporte de novos recursos.

Para o efeito multiplicador pretendido, e conforme mencionado, uma das estratégias da ANA trata do reconhecimento de programas e projetos de conservação de água para composição do portfólio do

Programa Produtor de Água, processo que foi regulamentado pela Resolução ANA nº 181, de 19 de janeiro de 2024. Além dos programas e projetos reconhecidos no Anexo I da Resolução ANA nº 181/2024, que devem enviar informações atualizadas anualmente para a manutenção do reconhecimento, a estratégia multiplicadora da ANA inclui a publicação de editais de chamamento e demais instrumentos convocatórios.

1.3 Manuais do Programa Produtor da Água

A partir da experiência adquirida até o momento e da definição da metodologia de trabalho do Programa Produtor de Água, a ANA decidiu lançar uma série de Manuais com o objetivo de compartilhar com os interessados o conhecimento acumulado ao longo do tempo no apoio à implantação de projetos, conforme apresentado a seguir:

Vol. 1 – Manual de Estruturação de Projetos;

Vol. 2 – Manual de Elaboração de Diagnósticos no Programa Produtor de Água;

Vol. 3 – Manual de Elaboração de Projeto Individual de Propriedade;

Vol. 4 – Manual de Práticas Vegetativas para Conservação de Solos e Recursos Hídricos;

Vol. 5 – Manual de Práticas Mecânicas para Conservação de Solos e Recursos Hídricos; e

Vol. 6 – Manual de Práticas Edáficas para Conservação de Solos e Recursos Hídricos

Este sexto volume da série de manuais do Programa Produtor de Água concentra-se nas **práticas edáficas** voltadas à conservação de solos e recursos hídricos, abordando técnicas fundamentais para o manejo sustentável do solo em áreas rurais. Partindo do entendimento de que a erosão é um dos principais fatores de degradação ambiental no meio rural, o documento reúne orientações práticas que vão desde o diagnóstico da fertilidade até a aplicação de práticas como correção do solo, adubação, adubação verde, compostagem, rotação de culturas e plantio direto. Essas práticas, além de promoverem a recuperação do solo, aumentam a infiltração da água e reduzem o escoamento superficial, fortalecendo a resiliência das bacias hidrográficas.

Organizado como um guia técnico de fácil consulta, o manual está estruturado em capítulos independentes, o que permite sua utilização conforme as demandas de campo. Além de abordar conceitos e fundamentos essenciais – como os tipos e processos de erosão e as diferentes formas de análise e manejo do solo. O material é voltado especialmente para técnicos, extensionistas e produtores rurais, que darão suporte ao planejamento e implementação dos projetos, mas também pode ser utilizado como referência por gestores de projetos e estudantes da área ambiental e agrônômica que atuam ou desejam atuar com a conservação de recursos naturais no contexto do Programa Produtor de Água.

2 EROÇÃO DE SOLOS

A erosão pluvial (causada pela chuva) é a principal causa de degradação de solos em áreas agrícolas no Brasil. As consequências da erosão são tanto econômicas quanto ambientais. A remoção da camada superficial do solo, rica em matéria orgânica e nutrientes, resulta em perda significativa de produtividade. Para compensar, os produtores costumam aumentar a aplicação de fertilizantes, o que eleva os custos de produção. Sem a adoção de práticas eficazes de controle, esse ciclo tende a se agravar. Em casos extremos, a erosão severa pode inviabilizar a produção agrícola, devido ao nível crítico de degradação do solo.

O solo erodido de áreas agrícolas pode atingir cursos d'água, causando assoreamento, o que reduz a capacidade de armazenamento de água em lagos e reservatórios e altera o fluxo dos rios. Além disso, o solo transportado frequentemente contém fertilizantes e outros insumos aplicados na superfície, comprometendo a qualidade da água ao serem depositados. Essa contaminação pode provocar danos ambientais significativos, como a alteração da biodiversidade aquática e a mortalidade de peixes. Adicionalmente, o excesso de nutrientes pode favorecer a proliferação de algas, causando problemas em sistemas de irrigação e outros usos da água.

A erosão do solo representa um desafio central para o Programa Produtor de Água, que busca o abatimento da erosão e da sedimentação em áreas agrícolas por meio da implementação de práticas agrícolas que contribuem diretamente para o aumento da cobertura do solo e infiltração de água, garantindo a redução do escoamento superficial.

Neste capítulo, será explorado como a erosão do solo ocorre, suas etapas e as diferentes formas em que se manifesta. Apresentaremos também as três principais estratégias de controle. O objetivo é fornecer uma compreensão abrangente dos mecanismos da erosão e das melhores abordagens para mitigá-la de maneira eficaz.

2.1 Processo de erosão

A erosão é um processo de desgaste do solo que envolve o desprendimento, transporte e deposição de partículas de solo. A gota de chuva alcança alta velocidade e, quando atinge o solo, causa desprendimento dos agregados em partículas menores, ou seja, os grãos de solo que estavam unidos uns aos outros se separam. É nesse momento que se inicia o processo erosivo. A Figura 1 mostra uma representação do salpicamento, momento em que a gota de chuva bate no solo e espalha partículas devido ao impacto.



Figura 1 - Representação do salpicamento, momento do impacto da gota de chuva quando atinge o solo, causando desprendimento de partículas menores.

Fonte: Imagem criada por Felipe Quartucci utilizando a ferramenta DALL-E em 30/07/2024.

Após um certo tempo de chuva, se o solo não tiver boa capacidade de infiltração, inicia-se a segunda etapa da erosão: a água começa a escoar pela superfície, formando a enxurrada. Durante esse escoamento, ela transporta as partículas de solo que foram desprendidas pelo impacto das gotas de chuva. Se o fluxo de água for intenso, ele não só carrega as partículas, mas também contribui para a desagregação adicional do solo, intensificando o processo erosivo.

A etapa final do processo erosivo é a deposição da água e dos sedimentos. Esse depósito ocorre naturalmente quando a enxurrada perde velocidade devido à redução da intensidade da chuva, ou pelo encontro da enxurrada com barreiras naturais ou artificiais. A Foto 1 mostra o processo de deposição de solo em uma estrada localizada ao lado de uma área com solo recém preparado e exposto. A água com solo desceu da área da agricultura e se acumulou na parte mais baixa do terreno, onde havia uma estrada.



Foto 1 - Deposição do solo erodido em estrada adjacente à área de agricultura, em Capela do Alto (SP), 2016
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

O entendimento desse processo é fundamental para implementar práticas eficientes de controle da erosão. Dessa maneira, o controle da erosão deve se basear em dois princípios: 1) evitar que a gota de chuva caia no solo descoberto e 2) evitar que a água escorra em superfície.

2.2 Formas de erosão

As três principais formas de erosão são: erosão em sulco, erosão laminar e erosão em voçoroca. A erosão laminar é caracterizada pela remoção uniforme de finas camadas de solo em toda a superfície do terreno. Embora menos visível que outras formas de erosão, a erosão laminar pode ser extremamente prejudicial à produtividade agrícola a longo prazo, pois remove gradualmente nutrientes e matéria orgânica da camada superficial, diminuindo assim sua fertilidade. Além disso, a erosão laminar pode levar à formação de uma crosta superficial, dificultando a infiltração de água e a emergência de plântulas. A erosão laminar é frequentemente chamada de "erosão silenciosa", pois é difícil de identificar no terreno, levando muitos produtores a subestimarem sua presença e, conseqüentemente, a não adotarem práticas de controle. A Foto 2 evidencia um processo de erosão laminar em pastagem. Note a diferente coloração do solo, característico de erosão laminar.



Foto 2 - Erosão laminar em pastagem, em Itai (SP), 2016
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

A erosão em sulcos ocorre quando o escoamento de água forma pequenos canais no solo, que aumentam de tamanho se não forem controlados. As conseqüências para a produtividade agrícola são significativas, pois os sulcos dificultam a mecanização, reduzem a área cultivável e podem danificar as raízes das plantas. Se não for controlada, a erosão em sulcos pode se tornar uma voçoroca. A Foto 3 mostra uma área com erosão em sulcos em uma propriedade na cidade de Sorocaba/SP.



Foto 3 - Erosão em sulco em área de agricultura sem cobertura de solo, em Sorocaba (SP), 2016
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

A erosão em voçoroca é a forma mais severa e avançada de erosão, caracterizada pela formação de grandes depressões no terreno. Este tipo de erosão ocorre com mais frequência em solos profundos e de fácil desagregação, especialmente em áreas com declives acentuados. As voçorocas podem

atingir vários metros de profundidade e largura, causando danos irreversíveis ao terreno. Além disso, representam um grande desafio para a mecanização agrícola, pois os equipamentos não podem operar em terrenos tão danificados. As voçorocas também contribuem para o assoreamento rápido de corpos d'água próximos, uma vez que grandes quantidades de solos são depositadas em um curto espaço de tempo. A Foto 4 mostra uma área completamente tomada por voçorocas, onde a produção agrícola já não é viável devido à severidade do processo erosivo.



Foto 4 - Área intensamente degradada por voçoroca, onde a severidade da erosão impossibilita a prática de atividades agrícolas, em Pedra do Indaiá/MG, 2009
Raylton Alves Batista/Banco de imagens da ANA

2.3 Suscetibilidade à erosão

A suscetibilidade à erosão refere-se à sensibilidade dos solos à erosão hídrica em seu contexto ambiental, ou seja, levando em conta a topografia e as condições climáticas às quais estão expostos.

A avaliação da suscetibilidade à erosão é o primeiro passo para a implementação de estratégias de controle, uma vez que quanto maior a suscetibilidade, mais intensas deverão ser as práticas adotadas. A EMBRAPA disponibiliza um mapa do Brasil de suscetibilidade à erosão, que permite identificar as condições na sua região. Para acessar essa ferramenta, utilize o seguinte [link](#)¹, insira o nome da sua cidade ou as coordenadas da sua propriedade e obtenha as informações desejadas. A suscetibilidade é classificada em 5 níveis: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

2.4 Controle da erosão

Para minimizar os impactos da erosão, geralmente um conjunto de práticas devem ser implementadas conjuntamente. A escolha de quais práticas implementar vai depender das condições edáficas e da suscetibilidade à erosão do solo. As práticas podem ser agrupadas didaticamente em mecânicas, vegetativas e edáficas. Esse manual tratará especificamente das práticas edáficas. Para mais detalhes sobre práticas vegetativas e práticas mecânicas, consulte, respectivamente, o Volume 4 e o Volume 5 da Série Manuais do Programa Produtor de Água no seguinte [link](#)².

As práticas mecânicas de controle da erosão são aquelas que utilizam estruturas artificiais para a redução da velocidade de escoamento da água sobre a superfície do solo, interferindo nas fases mais avançadas do processo erosivo. As práticas vegetativas de controle da erosão consistem na utilização das plantas para proteger e melhorar a qualidade do solo, conservando simultaneamente os recursos hídricos. As práticas edáficas envolvem ações e técnicas de manejo voltadas para melhorar a fertilidade e a qualidade física do solo. O aumento da fertilidade promove um crescimento mais rápido e vigoroso das plantas, resultando em maior cobertura do solo e, conseqüentemente, na redução da erosão. Já a

1 <https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/2998>

2 <https://www.gov.br/ana/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua>

melhoria da qualidade física do solo favorece uma maior infiltração de água, reduzindo o escoamento superficial e contribuindo para o controle da erosão.

Imagine a seguinte situação: dois produtores vizinhos plantaram milho no mesmo dia. O Produtor A adotou plantio direto, calagem e adubação conforme análise de solo, o que manteve a umidade pela palhada e favoreceu a germinação uniforme. Já o Produtor B utilizou preparo convencional e não realizou correção nem adubação, resultando em germinação irregular e desenvolvimento fraco das plantas.

Uma chuva forte atingiu as duas áreas. No Produtor A, as plantas já cobriam boa parte do solo e a palhada interceptou as gotas, enquanto a boa estrutura do solo permitiu a infiltração da água. No Produtor B, o solo estava exposto, recebendo o impacto direto da chuva, e sua estrutura comprometida favoreceu o escoamento superficial. Uma representação dessa situação pode ser visualizada na Figura 2.



Figura 2 - Representação comparativa do efeito das práticas edáficas no controle da erosão: à esquerda uma área hipotética onde foi realizada a calagem e adubação, além de plantio direto; à direita uma área onde o solo não foi corrigido nem adubado e foi realizado plantio convencional.
Fonte: Imagem criada por Felipe Quartucci utilizando a ferramenta DALL-E em 27/09/2024.

Vamos agora nos aprofundar nas práticas edáficas de controle da erosão. A etapa inicial para a recuperação da fertilidade do solo é uma boa amostragem, tema que será abordado no próximo capítulo.

3 AMOSTRAGEM DE SOLO

A amostragem de solo é o ponto de partida para uma interpretação precisa para recomendações eficazes de adubação e calagem. Uma amostragem inadequada pode não representar fielmente as condições do solo, comprometendo a precisão das recomendações. Portanto, o planejamento cuidadoso e a execução rigorosa dessa etapa são fundamentais para assegurar o sucesso das práticas de manejo do solo que se seguem.

Para o Produtor de Água, a amostragem representa o início de um processo no qual o produtor passa a conhecer melhor sua área, já que a divisão adequada da propriedade exige um conhecimento detalhado de todas as suas partes.

Neste capítulo, são apresentadas as melhores práticas da amostragem de solo, desde a preparação até a coleta e o armazenamento das amostras. Além disso, o capítulo também aborda os erros mais frequentes que produtores tendem a cometer durante a amostragem, oferecendo orientações para evitá-los e garantir resultados mais precisos e representativos das condições do solo.

3.1 Equipamentos

Os principais equipamentos utilizados para coleta de solo são trado holandês, trado caneca, trado de rosca, trado tipo sonda e trado meia lua ou calador. Ferramentas comuns em uma propriedade como pá e enxadão também podem ser utilizadas em caso de não estarem disponíveis equipamentos mais específicos para coleta. Além desses equipamentos, será necessário ter balde, marreta, faca, sacos plásticos e caneta para identificar as amostras. Abaixo uma descrição de cada material e na Figura 3 uma representação dos principais equipamentos e procedimento de coleta.



Um erro comum na amostragem de solo é o uso de ferramentas e equipamentos sujos, o que compromete a qualidade das amostras e os resultados da análise. Resíduos de fertilizantes em baldes, por exemplo, podem contaminar as amostras, indicando níveis elevados de nutrientes que não refletem as condições reais do solo. Ferramentas enferrujadas podem liberar ferro, alterando os teores desse elemento e o pH. Além disso, resíduos de solo nas ferramentas durante a troca de áreas podem causar contaminação cruzada e leituras incorretas.

- **Trado holandês:** este equipamento é recomendado para amostragens em solos de textura média e argilosa. É relativamente fácil de usar e permite uma boa penetração no solo. Contudo, pode ser menos eficiente em solos muito secos ou compactados.
- **Trado sonda:** graduado a cada 10 cm na haste, o trado sonda é versátil e pode ser utilizado em qualquer tipo de solo. Sua principal vantagem é a precisão na profundidade da amostragem. No entanto, pode ser mais difícil de manusear em solos muito argilosos.
- **Trado calador:** ideal para solos leves e úmidos, o trado calador é de fácil manuseio. Porém, não é recomendado para solos secos ou muito argilosos, onde pode encontrar dificuldade de penetração.
- **Trado de rosca:** ideal para solos arenosos e úmidos, onde outros tipos de trados podem apresentar dificuldades. Requer um pouco mais de esforço físico devido ao mecanismo de rosca, porém a rosca ajuda a manter o solo preso ao trado durante a extração.

- **Pá:** equipamento simples e amplamente disponível. É eficaz para coletar amostras superficiais, mas requer mais esforço físico para amostras mais profundas. Sua vantagem é a facilidade de uso e baixo custo.
- **Enxada:** útil em solos secos e compactados, o enxada é uma ferramenta comum e de fácil acesso. No entanto, não permite uma coleta precisa em termos de profundidade e volume de solo.

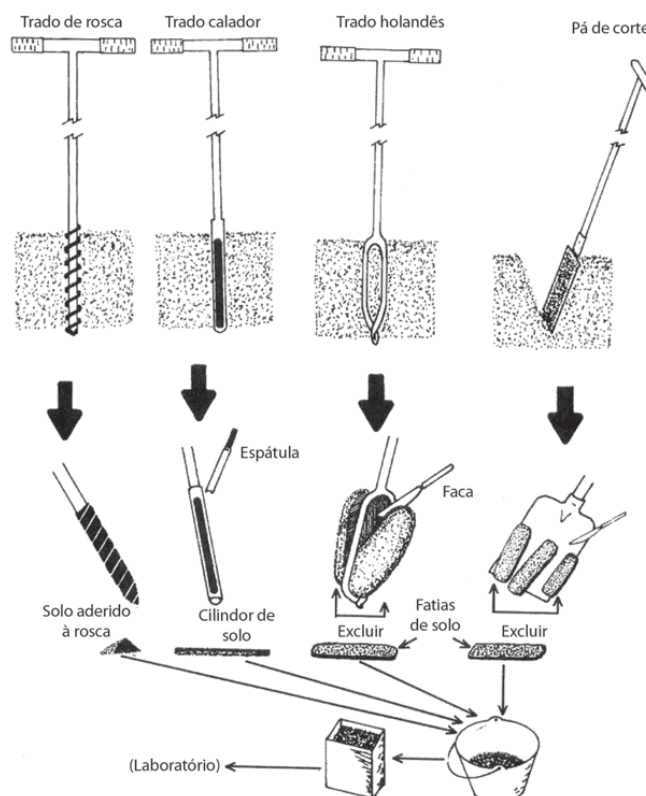


Figura 3 - Principais equipamentos e procedimentos de coleta de solo.
Fonte: Chitolina et al. (2009).

3.2 Época de amostragem

A melhor época para coleta de solo é durante o período de seca, entre o outono e o inverno, pois facilita a coleta e evita interferências da umidade excessiva. No entanto, a data de plantio é o principal fator para definir a época ideal. Para culturas anuais, recomenda-se planejar a amostragem com antecedência, permitindo tempo suficiente para análise, interpretação e aplicação de insumos.

Para culturas perenes, a amostragem deve ser feita no final do período chuvoso ou após a colheita. Já em solos explorados intensivamente, como hortas, recomenda-se realizar ao menos uma amostragem anual, independentemente da cultura.



Evite realizar a amostragem logo após a adubação, pois resíduos de fertilizantes podem distorcer os resultados. Aguarde pelo menos 1 mês após a aplicação ou até que os grânulos se dissolvam completamente em períodos de seca.

3.3 Divisão da propriedade

Uma propriedade rural geralmente é heterogênea em relação ao tipo de solo. Para que a amostra de solo reflita a realidade do campo, o plano de amostragem deve ser realizado de maneira que haja uma divisão da propriedade em glebas (talhões, áreas) o mais homogêneas possível. Para isso, alguns fatores devem ser levados em conta para dividir uma propriedade: histórico de uso e manejo, características do solo e topografia. Além disso, recomenda-se que uma gleba não ultrapasse 10 hectares, mesmo que todas os fatores sejam os mesmos. No entanto, em propriedades muito extensas, onde já existe uma divisão de talhões com áreas superiores a 10 hectares, a coleta pode ser realizada de acordo com essa divisão pré-estabelecida. A Figura 4 mostra um esquema de divisão de uma propriedade. Nesse caso, deverão ser coletadas 10 amostras. Note que as divisões levam em conta aspectos de solo, manejo, declividade e localização no terreno.

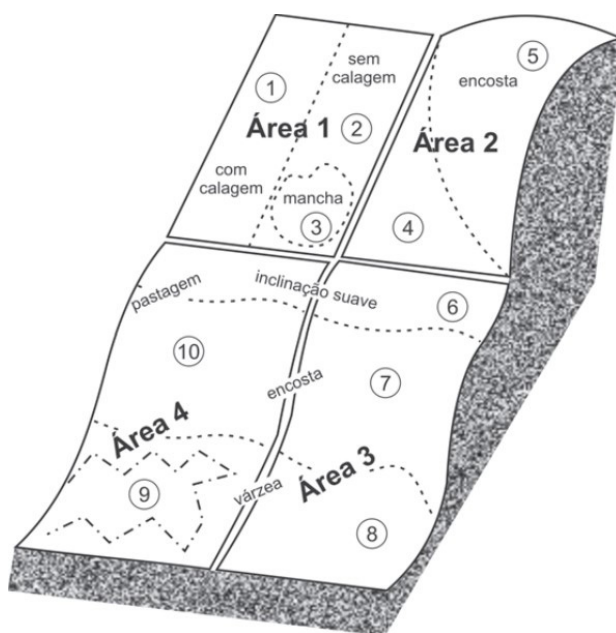


Figura 4 - Divisão da propriedade em glebas homogêneas.
Fonte: Chitolina et al. (2009).

3.4 Profundidade

A escolha da profundidade adequada depende principalmente do tipo de cultura e do objetivo da análise. Para culturas anuais a coleta geralmente deve ser realizada na camada de 0-20 cm de profundidade. Esta é a zona onde se concentra a maior parte do sistema radicular das culturas anuais e onde ocorrem as principais interações entre o solo e os nutrientes. Para culturas perenes, recomenda-se também incluir a camada de 20-40 cm, pois o sistema radicular se estende além da camada superficial.

Em alguns casos, a amostragem pode ser realizada ainda em uma profundidade maior. Por exemplo, quando for fazer uma recomendação para aplicação de gesso agrícola. Ou ainda quando for fazer um trabalho mais específico de avaliação e melhoria do perfil do solo. No caso de plantio direto, como a variação vertical do solo é maior, pode-se estratificar a camada de 0-20 cm para. Por exemplo, pode-se coletar uma amostra de 0-10 cm e outra de 10-20 cm.

3.5 Número de amostras

Uma amostra simples é uma pequena quantidade de terra retirada de um ponto específico em uma área ou gleba homogênea. Uma amostra composta é formada pela mistura de várias amostras simples coletadas em diferentes pontos de uma mesma área homogênea. Para cada área que queremos

fazer uma recomendação, devemos ter uma amostra composta. Recomenda-se de 10 a 30 amostras simples para formar uma amostra composta. Quanto maior a gleba a ser amostrada, maior o número de amostras simples.

3.6 Procedimento de campo

As amostras simples devem ser coletadas de uma forma homogênea de toda a gleba. O percurso em zigue-zague, cobrindo toda a extensão da gleba é o mais recomendado (exemplo no talhão 9 na Figura 5). No caso de culturas perenes, a amostragem deve ser feita na projeção da copa, área onde geralmente o fertilizante é aplicado.



Um erro comum durante a amostragem de campo é coletar amostras apenas de uma parte da gleba, sem percorrer toda a área. Embora a divisão da propriedade em glebas homogêneas tenha sido feita para garantir uniformidade, o solo não é totalmente homogêneo dentro da gleba e é possível que amostras sejam coletadas em pontos que não representem toda a área.

3.7 Preparo das amostras

As amostras simples devem ser depositadas no balde. Ao final do procedimento, o balde vai ter de 1 a 5 kg de solo, dependendo do equipamento utilizado e da quantidade de amostras simples. Após o término da coleta de todas as amostras simples, deve-se homogeneizar bem a amostra no balde, misturando bem o solo coletado. A homogeneização deve ser feita com um material inerte, como uma faca limpa. Evite usar as mãos para misturar.

Após homogeneização, deve-se retirar aproximadamente 500 g de solo e colocar em um saco plástico. Deve-se anotar informações que permitam identificar precisamente a amostra, como:

- Data da coleta
- Caracterização da área (cultura, local da propriedade que identifique o local de coleta)
- Profundidade da coleta
- Tipo de análise que vai ser feita
- Nome da propriedade
- Nome do proprietário
- Dados do proprietário (endereço, telefone etc.)



A amostra deve ser enviada ao laboratório em até 48 horas após a coleta. Um erro comum é demorar muito para enviar as amostras, mantendo o solo armazenado em saquinhos fechados. A umidade e a temperatura dentro do saquinho podem desencadear reações químicas no solo, resultando em alterações nos resultados da análise. Se o envio dentro desse prazo não for possível, é recomendável secar a amostra à sombra e em temperatura ambiente para preservar suas características.

Após o recebimento dos resultados das amostras de solo pelo laboratório, é necessário realizar a interpretação dos dados, etapa que será abordada em detalhe no próximo capítulo.

4 INTERPRETAÇÃO DE ANÁLISE DE SOLO

A interpretação da análise de solo é uma ferramenta essencial na gestão agrícola, pois permite a avaliação das condições químicas e físicas que o solo se encontra. Ela fornece informações detalhadas sobre a disponibilidade de nutrientes, a acidez do solo e outros parâmetros de fertilidade. Com base nos resultados da análise, é possível otimizar a aplicação de insumos, reduzir desperdícios e minimizar impactos ambientais.

Os custos de uma análise de solo são geralmente acessíveis, e os benefícios que ela proporciona em termos de manejo da fertilidade do solo superam amplamente esse investimento. Portanto, sempre que possível, é recomendável que o produtor realize uma análise de solo.

No contexto do Programa Produtor de Água, a análise de solo é uma ferramenta essencial, pois fornece as bases para a aplicação adequada de fertilizantes, contribuindo para maximizar a produtividade e minimizar a erosão. Além disso, a realização periódica de análises de solo permite monitorar a evolução da fertilidade ao longo do tempo, evidenciando os impactos positivos da adoção das práticas edáficas.

Neste capítulo, abordaremos como interpretar uma análise de solo. Primeiro, apresentaremos os principais conceitos relacionados à análise. Em seguida, passaremos para a interpretação dos resultados, considerando os teores presentes no solo.

4.1 Tipos de análise de solo

Os tipos de análise realizados em uma amostra de solo variam conforme o objetivo desejado. Por exemplo, há análises biológicas, que avaliam a presença e diversidade de microrganismos, bem como a atividade enzimática no solo, fornecendo informações sobre sua saúde e funcionalidade. No contexto no Programa Produtor de Água, a análise de fertilidade é a mais indicada. Embora seja possível realizar análises para elementos específicos de forma isolada, os laboratórios costumam executar um conjunto de análises em uma mesma amostra, proporcionando uma visão mais abrangente da qualidade e composição do solo. Apesar de algumas variações regionais, de modo geral, as análises mais comumente realizadas incluem:

- Química para fins de fertilidade – essa é a análise padrão, e envolve as seguintes determinações: pH, MO, P, K, Ca, Mg, S, Al, H+Al, SB, CTC, V% e m%
- Micronutrientes: B, Cu, Fe, Mn, Zn
- Textura: areia, silte e argila

Note que o nitrogênio (N), principal nutriente para muitas culturas, não é avaliado em análises de rotina. Suas formas disponíveis para as plantas no solo são instáveis e variam com o clima e as condições do solo. Por isso, as recomendações de adubação nitrogenada consideram as necessidades das culturas e o teor de matéria orgânica do solo.

A análise de solo inclui os resultados dos nutrientes e outros parâmetros químicos que ajudam a descrever a fertilidade do solo. A Tabela 1 apresenta características dos nutrientes nos solos brasileiros, como suas concentrações, suscetibilidade à lixiviação e aspectos específicos de manejo. Já a Tabela 2 detalha os principais parâmetros químicos e seus significados. Para informações adicionais, consulte o Guia de Interpretação de Análise de Solo e Foliar disponível neste [link³](https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/40/1/Guia-interpretacao-analise-solo.pdf).

3 <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/40/1/Guia-interpretacao-analise-solo.pdf>

Tabela 1 - Características dos macro e micronutrientes nos solos⁴.

Nutriente	Suscetibilidade a lixiviação	Concentração nos solos brasileiros	Particularidades do Manejo
Nitrogênio (N)	Alta	Baixa a Moderada	Necessidade de adubação fracionada para evitar perdas
Fósforo (P)	Baixa	Baixa	Alta fixação em solos ácidos
Potássio (K)	Moderada	Baixa	Risco de lixiviação em solos arenosos
Calcio (Ca)	Baixa	Moderada a Alta	Fundamental na correção de acidez
Magnésio (Mg)	Baixa	Moderada	Equilíbrio com Ca é importante
Enxofre (S)	Moderada	Moderada	Pode ser lixiviado em solos arenosos
Boro (B)	Alta	Baixa	Móvel, requer atenção para evitar deficiência em solos arenosos
Cobre (Cu)	Baixa	Baixa	Baixos teores em solos com altos teores de matéria orgânica
Ferro (Fe)	Baixa	Moderada a Alta	Baixa mobilidade, correção de pH aumenta a disponibilidade
Manganês (Mn)	Baixa	Moderada	Tóxico em altas concentrações
Molibdênio (Mo)	Alta	Muito Baixa	Correção de acidez do solo melhora a disponibilidade
Zinco (Zn)	Moderada	Baixa	Monitoramento constante necessário devido à baixa concentração
Cloro (Cl)	Alta	Moderada	Gestão da irrigação é fundamental para evitar acúmulo e toxicidade

4 Fonte: Adaptado de Raij et al. (1997) e Brasil; Cravo; Viégas (2020).

Tabela 2 - Parâmetros químicos da análise de solo e seus significados⁵.

Parâmetro	Significado
MO	Matéria orgânica: indica a quantidade de material orgânico no solo, importante para a fertilidade.
pH	Potencial Hidrogeniônico: mede a acidez ou alcalinidade do solo. Exerce grande influência na disponibilidade de nutrientes.
SB	Soma de bases: soma dos cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) disponíveis no solo.
CTC efetiva	Capacidade de troca de cátions efetiva: soma dos cátions retidos na solução do solo no pH atual.
CTC potencial	Capacidade de troca de cátions potencial: soma dos cátions que o solo pode reter, considerando a acidez potencial (H+Al).
Al	Alumínio trocável: indica o alumínio em formas solúveis, elemento tóxico para as plantas.
H+Al	Acidez potencial: representa a acidez que pode ser liberada com a diminuição do pH.
V%	Saturação por bases: percentual da CTC ocupado por cátions básicos, refletindo a fertilidade do solo.
m%	Saturação por alumínio: percentual da CTC efetiva ocupado por alumínio, indicando o risco de toxicidade para as plantas.

4.2 Textura do solo

A textura do solo refere-se à proporção relativa de partículas de diferentes tamanhos – argila, silte e areia – que compõem o solo. A argila são as menores partículas do solo, enquanto a areia representa as maiores. Essa característica influencia diretamente a capacidade do solo de reter água e nutrientes, aeração e a facilidade com que as raízes das plantas penetram no solo. Além disso, a textura do solo influencia diretamente a erodibilidade do solo, portanto um parâmetro essencial na avaliação no âmbito do Programa Produtor de Água.

A Embrapa agrupa os solos em 5 classes texturais: arenosa, siltosa, média, argilosa e muito argilosa. Cada classe textural apresenta características distintas em relação a fertilidade, infiltração de água e erodibilidade. As características de cada classe textural podem ser visualizadas na Tabela 3. Para saber a classe textural do seu solo, insira os valores de argila e silte nesse [link](#)⁶ e aperte classificar.



Vamos supor que uma análise deu os seguintes resultados: 360 g kg⁻¹ (36%) de areia, 150 g kg⁻¹ (15%) de silte e 490 g kg⁻¹ (49%) de argila. Ao inserir essas informações no [link](#)⁷ acima, vemos que o solo tem uma textura argilosa.

5 Fonte: Adaptado de Raj et al. (1997) e Brasil; Cravo; Viégas (2020).

6 <https://www.pedologiafacil.com.br/textura.php>

7 <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1125022/recomendacoes-de-calagem-e-adubacao-para-o-estado-do-para>

Tabela 3 - Principais características das classes texturais dos solos⁸.

Classe textural	Composição	Capacidade de retenção de água	Drenagem	Fertilidade natural	Facilidade de preparo	Erodibilidade do solo ⁹
Arenosa	> 70% areia, <15% argila	Baixa	Excessiva	Baixa	Alta	Alta
Siltosa	< 35% argila, < 15% areia	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada	Alta
Média	> 35% argila, > 15% areia	Moderada	Boa	Moderada	Moderada	Moderada
Argilosa	35-60% argila	Alta	Lenta	Alta	Baixa	Baixa
Muito Argilosa	> 60% argila	Muito alta	Muito lenta	Alta	Muito baixa	Baixa

4.3 Fontes de informação por região

No Brasil, a interpretação dos resultados de análises de solo é baseada em tabelas que refletem as particularidades dos solos e das culturas agrícolas em cada região. Essas tabelas foram desenvolvidas considerando as condições edafoclimáticas e as necessidades específicas das culturas locais. A Tabela 4 mostra as principais fontes de informação para a interpretação de análise de solo para diferentes regiões do Brasil.

⁸ Fonte: Elaboração própria.

⁹ A classe textural é um dos fatores que influenciam a erodibilidade do solo. Outros fatores como agregação, estabilidade dos agregados e declividade do terreno devem ser analisados conjuntamente para uma análise mais criteriosa.

Tabela 4 - Principais fontes de informação para interpretação da análise do solo em diversas regiões do Brasil¹⁰.

Estado ou região	Título	Fonte
RS e SC	Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina	(SBCS, 2016)
PR	Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná	(PAULETTI; MOTTA, 2019)
RJ	Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro	(FREIRE et al., 2013)
SP	Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo (Boletim 100)	(RAIJ et al., 1997)
MG	Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação	(RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999)
ES	Guia de interpretação de análise de solo e foliar	(PREZOTTI; MARTINS, 2013)
PE	Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação	(CAVALCANTI et al., 2008)
PA	Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará	(BRASIL; CRAVO; VIÉGAS, 2020)
RR	Apostila do Curso de Interpretação de Análises de Solo e Recomendação de Calagem e Adubação no Estado de Roraima	(COSTA; FERREIRA; ARAÚJO, 2008)
Cerrado	Cerrado: correção do solo e adubação	(SOUSA; LOBATO, 2002)

Observe que, para os estados das regiões Sul e Sudeste, há maior disponibilidade de fontes de informação. Em contrapartida, as regiões Nordeste e Norte possuem menos referências. Para o Centro-Oeste, a interpretação pode ser realizada com base em áreas de Cerrado, caso a localidade esteja inserida nesse bioma. Na ausência de um manual de interpretação específico para a sua área, recomenda-se utilizar fontes que apresentem as condições edafoclimáticas mais semelhantes.

Os resultados das análises de solo podem apresentar pequenas variações entre diferentes regiões, tanto nos métodos de laboratório quanto nas unidades utilizadas. Por exemplo, os teores de Ca podem ser expressos em cmolc/dm^3 ou mmolc/dm^3 , ou os teores de matéria orgânica em % ou g/dm^3 . Por isso, é fundamental utilizar tabelas de interpretação com as mesmas unidades dos resultados para garantir uma análise precisa e consistente.

4.4 Interpretação dos teores

As tabelas de interpretação de nutrientes organizam os resultados da análise de solo em faixas de concentração, indicando a disponibilidade de cada nutriente para as plantas. Elas são específicas para cada nutriente e podem variar conforme a região, tipo de solo e cultura agrícola. Ao lado de cada faixa de concentração, as tabelas geralmente fornecem uma classificação qualitativa (baixa, média, alta, muito alta) que indica a adequação do nível do nutriente para o cultivo.

Para utilizar a tabela, siga os passos abaixo:

- 1. Obtenha os resultados da análise de solo:** após realizar a análise de solo, você terá os valores medidos de cada nutriente, como fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), entre outros.
- 2. Localize o nutriente na tabela:** encontre a coluna correspondente ao nutriente que você deseja interpretar na tabela.

3. **Compare o valor com as faixas da tabela:** compare o valor obtido na análise de solo com as faixas de concentração indicadas na tabela para aquele nutriente. Por exemplo, se o valor de potássio no solo foi de 30 mg/dm³, verifique em qual faixa de concentração esse valor se encaixa.
4. **Identifique a classificação:** com base na faixa de concentração, a tabela fornecerá uma classificação qualitativa, como “baixa”, “média”, “alta” ou “muito alta”.

Essa classificação indica o nível de adequação do nutriente para as plantas. O significado das divisões para o manejo de solo é:

- **Baixa:** indica que o nível de nutriente está insuficiente para atender às necessidades das plantas. Nesse caso, é necessário corrigir a deficiência com adubação ou outras práticas de manejo.
- **Média:** sugere que o nível de nutriente é aceitável, mas geralmente não é ideal para a maioria das culturas. É necessária uma suplementação moderada de fertilizantes.
- **Alta:** indica que o nível de nutriente está bom, e pouca correção é necessária. Para algumas culturas menos exigentes, não será necessária correção.
- **Muito Alta:** indica que o nível de nutriente está muito bom, e geralmente não há necessidade de adição de fertilizantes para aquele nutriente para a maioria das culturas. No entanto, para culturas muito exigentes, ainda pode ser necessário adicionar pequenas doses. Em alguns casos, níveis excessivamente altos podem causar toxicidade ou antagonismo com outros nutrientes.



Vamos supor que uma análise de solo no estado do Pará deu 75 mg/dm³ de potássio e 8 mg/dm³ de fósforo. Vamos supor também que o solo tem 41% de argila. Para interpretar os teores, vamos usar o capítulo de interpretação de análise de solo do livro Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará da Embrapa (BRASIL; CRAVO; VIÉGAS, 2020). Para acessar o livro utilize esse [link](#)¹¹. Abaixo está a tabela de interpretação dos teores de potássio (Tabela 5) e fósforo no solo (Tabela 6).

Tabela 5 - Classes de interpretação da disponibilidade de potássio (K, mg/dm³) no solo¹².

Baixa	Média	Alta	Muito Alta
≤ 40	41-60	61-90	>90

Tabela 6 - Classes de interpretação da disponibilidade de fósforo (P, mg/dm³) no solo de acordo com a textura do solo¹³.

Teor de argila (%)	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Argilosa (>35)	≤ 5	6-10	11-15	> 15
Média (15-35)	≤ 8	9-15	16-20	> 20
Arenosa (<15)	≤ 10	11-18	19-25	> 25

De acordo com a Tabela 5 interpretamos que o solo hipotético tem teores altos de K. Já o P deve ser interpretado de acordo com a textura do solo. Como o nosso solo tem 41% de argila, a interpretação dos valores será para solos com textura argilosa (>35) na Tabela 6. Dessa maneira, a disponibilidade de P nesse solo é média.

Após a interpretação da análise de solo, o próximo passo é a recomendação de manejo. A correção do solo, que é a primeira etapa desse processo, será abordada em detalhes no próximo capítulo.

¹¹ <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1125022/recomendacoes-de-calagem-e-adubacao-para-o-estado-do-para>

¹² Fonte: Brasil e Cravo (2020).

¹³ Fonte: Brasil e Cravo (2020).

5 CORREÇÃO DO SOLO

No Brasil, grande parte dos solos são moderadamente a altamente ácidos, com baixa fertilidade natural, exigindo intervenções corretivas para viabilizar a produção agrícola e maximizar a produtividade. A correção do solo torna-se, portanto, indispensável para corrigir a acidez do solo e assegurar condições favoráveis para o desenvolvimento das culturas.

A calagem é uma prática simples, mas de grande importância, oferecendo inúmeros benefícios ao solo. Trata-se de uma prática com excelente relação custo-benefício, sendo recomendada na maioria dos casos. No entanto, ainda é subutilizada por grande parte dos produtores.

No contexto do Programa Produtor de Água, a correção de solo é uma prática fundamental, pois melhora a fertilidade do solo, promove o crescimento de plantas mais vigorosas que protegem o solo contra a erosão e aumenta a infiltração de água, contribuindo diretamente para a conservação dos recursos hídricos.

Neste capítulo apresentaremos os principais tipos e características dos corretivos de solo utilizados no Brasil. Por fim, serão descritas as principais metodologias para a recomendação de calagem, incluindo exemplos práticos de cálculos.

5.1 Corretivos agrícolas

Os corretivos agrícolas são materiais usados para neutralizar a acidez do solo, sendo o calcário agrícola o mais utilizado devido à sua ampla disponibilidade no Brasil. Outros tipos de corretivos também estão disponíveis, mas sua oferta e custo variam conforme a região. A Tabela 7 apresenta um comparativo entre diferentes corretivos, destacando sua disponibilidade e preço.

Tabela 7 - Comparação entre os principais corretivos agrícolas¹⁴.

Corretivo	Disponibilidade	Preço
Calcário Calcítico	Alta, amplamente disponível	Baixo
Calcário Dolomítico	Alta	Baixo
Cal Virgem	Limitada	Médio a alto
Cal Hidratada	Limitada	Médio a alto
Calcário calcinado	Limitada	Médio a alto
Escórias de Siderurgia	Disponível em regiões próximas a siderúrgicas	Variável, geralmente baixo
Silicatos	Variável, dependendo da indústria local	Médio
Casca de Ostras Moídas	Limitado a regiões costeiras	Baixo a Médio

5.2 Métodos de recomendação de calagem

No Brasil, a recomendação da dose de calcário varia conforme as características regionais dos solos, resultando no desenvolvimento de diferentes métodos adaptados às condições locais. A seguir, descrevemos os três principais métodos utilizados no Brasil, incluindo exemplos de cálculo e orientações sobre onde aplicar cada fórmula.

5.2.1 Método SMP

O método SMP é amplamente utilizado nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. A recomendação por esse método é realizada por meio de duas tabelas. Primeiro, encontra-se o pH

14 Fonte: Adaptado de Primavesi e Primavesi (2004).

desejado para a cultura que será plantada. Essa informação pode ser visualizada na tabela 5.1 (página 68) do Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS, 2016), nesse [link¹⁵](#). Após isso, cruza-se a informação do resultado do índice SMP da análise de solo com o pH desejado da cultura, utilizando a tabela 5.2 (página 70) do mesmo manual.



É importante destacar que a recomendação de calagem considera a utilização de calcário com um Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 100. O PRNT é um índice que mede a eficiência do calcário na neutralização da acidez. Os calcários encontrados no mercado geralmente têm PRNT diferente de 100, e para ajustar a dose recomendada, é necessário multiplicar a dose recomendada pelo fator de correção 100/PRNT.

Vamos supor que um produtor rural vai plantar melão no RS. Ele realizou análise de solo e o resultado do índice SMP foi de 6,4. O PRNT do calcário que ele vai utilizar é 91.

1. Determinação do pH desejado para a cultura

Olhando a tabela 5.1 (página 68 do Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina), nota-se que o melão possui um pH desejado de 6,0.

2. Determinação da dose

Cruzando as informações do pH desejado com o índice SMP na tabela 5.2 (página 70 do Manual de Calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina), vemos que a dose recomendada nesse caso é de 1,4 t/ha. Essa dose refere-se a um calcário com PRNT de 100.

3. Correção para o PRNT do calcário a ser utilizado

Como o PRNT do calcário utilizado é de 91, multiplicamos a dose recomendada por 100/91. Então a necessidade de calagem será $1,4 \times 100/91 \rightarrow 1,4 \times 1,1 \rightarrow 1,5$ t/ha.

Portanto, esse produtor terá que aplicar 1,5 t/ha do calcário de PRNT 91 para elevar o pH do solo dele a 6,0, que é o desejado para a cultura do melão.

5.2.2 Método do Alumínio Trocável

O método de neutralização do alumínio trocável é amplamente utilizado nas regiões do Cerrado. Existem algumas variações da fórmula usada para realizar a recomendação da dose. No entanto, a fórmula abaixo pode ser usada de uma maneira segura para essas regiões.

$$NC = (Y \times Al) + [X - (Ca + Mg)]$$

Onde NC é a necessidade de calagem em t/ha. Y refere-se à textura do solo, sendo 1 para solos de textura arenosa (<15% de argila), 2 para solos de textura média (entre 15 e 35% de argila), e 3 para solos argilosos e muito argilosos (> 35% de argila). Al refere-se ao teor de alumínio no solo em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. X refere-se ao tipo de cultura, sendo 1 para eucalipto, 2 para a maioria das culturas, e 3 para café. Ca e Mg referem-se aos teores de cálcio e magnésio no solo em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$. Da mesma maneira que o método anterior, a recomendação baseia-se em um calcário com PRNT de 100. Portanto, deve-se fazer uma correção da dose usando o fator 100/PRNT.



Um produtor rural de Minas Gerais vai plantar café. Ele realizou uma análise de solo e os resultados foram o seguinte: Al = 1,2 cmol_c/dm³; Ca = 0,8 cmol_c/dm³; Mg = 0,4 cmol_c/dm³; teor de argila = 29%. O PRNT do calcário que ele vai utilizar é 79.

Como o solo é de textura média (teor de argila entre 15 e 35%), o valor de Y será 2. O valor de X será 3, pois a cultura é café. Portanto, a necessidade de calagem será:

$$NC = (2 \times 1,2) + [3 - (0,8 + 0,4)]$$

$$NC = (2,4) + [3 - (1,2)]$$

$$NC = (2,4) + [1,8]$$

$$NC = 4,2 \text{ t/ha}$$

Portanto, a dose de calcário a ser recomendada é de 4,2 t/ha. No entanto, essa seria a dose se o PRNT do calcário fosse 100. Como o PRNT do calcário utilizado foi de 79, multiplicamos a dose recomendada por 100/79.

$$NC = 4,2 \times 100/79 \rightarrow 4,2 \times 1,3 \rightarrow 5,5 \text{ t/ha}$$

Portanto, esse produtor terá que aplicar 5,5 t/ha do calcário de PRNT 79 para corrigir o solo para o plantio de café.

5.2.3 Método da Saturação por Bases

Este método é comumente utilizado nos estados de São Paulo e Paraná. A fórmula para recomendação é:

$$NC = \frac{(V2 - V1) \times CTC}{10 \times PRNT}$$

Onde NC é a necessidade de calagem em t/ha. V2 refere-se à saturação por bases que se deseja atingir; V1 é a saturação por bases atual do solo; CTC é a CTC do solo em mmol_c/dm³; PRNT é o poder relativo de neutralização total do calcário a ser aplicado.



Note que esse método já adiciona o PRNT do calcário na fórmula de recomendação. Portanto, não há necessidade de fazer a correção posterior para o PRNT como nos métodos anteriores. Note também que a unidade da CTC nesse caso é em mmol_c/dm³, e não em cmol_c/dm³ como nos métodos anteriores. Se o laboratório fornecer os resultados da CTC em cmol_c/dm³, o valor deverá ser multiplicado por 10 para poder usar na fórmula.

A saturação por bases desejada (V2) varia de 40 a 80%, dependendo da tolerância à acidez do solo da cultura. A Tabela 8 agrupa algumas culturas de acordo com saturação por bases desejada. Para outras culturas, a saturação por bases poderá ser verificada nos boletins 100 e 200 para o Estado de São Paulo (AGUIAR et al., 2014; RAIJ et al., 1997) e no Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (PAULETTI; MOTTA, 2019). Acesse o Boletim 200 nesse [link](https://www.iac.sp.gov.br/media/publicacoes/iacboletim200.pdf)¹⁶.

Tabela 8 - Saturação por bases desejada (V2) para algumas culturas¹⁷.

Saturação por bases desejada (V2)	Cultura
40%	Brachiaria decumbens, B. humidicola, Chá, Citronela-de-Java
50%	Abacaxi, Arroz, Bambu, Cacau, Café, Cúrcuma, Gengibre, Mandioca, Milheto, Seringueira
60%	Amendoim, Banana, Batata, Brachiaria brizantha, Cana-de-açúcar, Coco, Crotalaria, Cynodon plectostachyus, Feijão-Adzuki, Feijão-de-porco, Goiaba, Grão-de-bico, Leguminosas perenes (adubos verdes e forrageiras), Mamona, Soja
70%	Algodão, Aveia, Camomila, Feijão, Figo, Gergelim, Girassol, Hortelã, Macadâmia, Maçã, Milho, Panicum, maximum, Pennisetum purpureum Pera, Pêssego, Sorgo, Trigo, Vetiver
80%	Aipo, Alface, Alho, Berinjela, Beterraba, Caqui, Cebola, Cebolinha, Chuchu, Couve, Gerânio, Inhame, Mandioquinha salsa, Maracujá, Morango, Pimenta, Quiabo, Rúcula, Tomate, Uva



Um produtor rural vai plantar quiabo no estado do Paraná. Ele realizou uma análise de solo e os resultados foram o seguinte: saturação por bases (V%) = 40%; capacidade de troca de cátions (CTC) = 72 mmol/dm³. Ele vai realizar a calagem com um calcário de PRNT de 88.

Olhando a Tabela 8, vemos que a saturação por bases desejada (V2) do quiabo é 80%. Então, a necessidade de calagem será:

$$NC = \frac{(80 - 40) \times 72}{10 \times 88}$$

$$NC = \frac{(40) \times 72}{880}$$

$$NC = \frac{2880}{880}$$

$$NC = 3,3 \text{ t/ha}$$

5.3 Época de aplicação

A época de aplicação de corretivos é crucial para garantir a eficiência da calagem e a melhoria das condições do solo. O período mais recomendado para a aplicação de calcário em culturas anuais é geralmente antes do início da temporada de plantio, durante a entressafra. Aplicar calcário com antecedência permite que o corretivo tenha tempo suficiente para reagir no solo, aumentando o pH e neutralizando a acidez. Essa prática é particularmente importante porque as reações químicas do calcário no solo são relativamente lentas, podendo levar três meses para elevar o pH a níveis desejáveis.

5.4 Profundidade de aplicação

A profundidade de aplicação do corretivo é um fator determinante para a eficácia da calagem. O calcário deve ser incorporado de forma homogênea na camada arável do solo, geralmente 20 centímetros de profundidade. Essa profundidade coincide com a zona de maior atividade radicular das plantas, onde a absorção de água e nutrientes é mais intensa. Em áreas de plantio direto, onde o solo não é revolvido, o calcário é aplicado na superfície, e sua correção da acidez depende da mobilidade ao longo do perfil do solo, o que ocorre de forma mais lenta em comparação à incorporação convencional.

Em solos compactados ou com camadas subsuperficiais ácidas, pode ser necessário incorporar o calcário a profundidades maiores, utilizando implementos como subsoladores. Quando o calcário é aplicado a profundidades maiores, é importante ajustar a dose do corretivo. Uma regra prática comum é aumentar a dose proporcionalmente à profundidade. Por exemplo: para uma aplicação de calcário visando uma profundidade de até 20 cm (camada arável), usa-se a dose recomendada sem ajustes; se a aplicação for destinada a 30 cm de profundidade, é necessário aumentar a dose em 50% (multiplica a dose recomendada por 1,5); para uma profundidade de 40 cm, a dose deve ser dobrada (multiplica a dose recomendada por 2). Isso ocorre porque, ao aplicar em profundidades maiores, o volume de solo a ser corrigido aumenta, exigindo uma maior quantidade de corretivo para que a acidez seja neutralizada de forma homogênea em toda a camada trabalhada.

5.5 Gessagem

O gesso agrícola é um corretivo de solo que fornece cálcio (Ca) e enxofre (S), dois nutrientes essenciais para as plantas. Diferente do calcário, o gesso não altera o pH do solo. No entanto, ele apresenta uma solubilidade muito superior à do calcário e por isso penetra em camadas subsuperficiais e ajuda a corrigir problemas com a toxicidade de alumínio em camadas mais profundas, promovendo um ambiente mais favorável para o crescimento radicular das plantas. Portanto, o gesso agrícola é um produto que apresenta 3 benefícios: 1) diminuir a toxidez do alumínio em subsuperfície, agindo como um condicionador de solo; 2) fornecer enxofre; 3) fornecer cálcio. Nesta seção, vamos focar no uso do gesso para corrigir o alumínio em camadas subsuperficiais.

O primeiro passo para a recomendação de gessagem é realizar uma análise de solo mais profunda, abrangendo a camada de 20-40 cm e 40-60 cm, podendo chegar até 80 cm ou 100 cm quando cultura perene com sistema radicular profundo. Essa análise deve incluir a avaliação da textura do solo, já que a necessidade de gesso varia conforme a quantidade de argila presente.

Os critérios para a recomendação de gessagem incluem a saturação por alumínio (m%) e os teores de cálcio na camada subsuperficial do solo. A gessagem é indicada quando a saturação por alumínio (m%) é superior a 30%, indicando elevada toxicidade de alumínio para as raízes. Além disso, recomenda-se aplicar gesso quando os teores de cálcio são inferiores a 5,0 mmolc/dm³.

Há diversos métodos para calcular a necessidade de gesso, todos baseados em princípios semelhantes. Uma prática comum é calcular a dose usando 2 a 3 diferentes metodologias, e escolher a que apresenta a maior dose. Abaixo são apresentados três métodos, e a fonte da informação pode ser verificada na Tabela 9.

1. Método de recomendação de gessagem baseado na quantidade de argila presente no solo, de acordo com a seguinte fórmula:

$$NG = 6 \times \text{argila}$$

Onde NG é a necessidade de gesso, em kg/ha e argila é o teor de argila no solo em g/kg.

2. Método baseado na quantidade de argila, diferenciando para culturas anuais e perenes. A recomendação para culturas anuais deve ser:

$$NG = 5 \times \text{argila}$$

E para culturas perenes deve ser:

$$NG = 7,5 \times \text{argila}$$

Onde NG é a necessidade de gesso, em kg/ha e argila é o teor de argila no solo em g/kg.

3. Recomendação com base na dose de calcário que foi recomendada pelo método de saturação por bases ou alumínio trocável, de acordo com a seguinte fórmula:

$$NG = 0,25 \times NC$$

Onde NG é a necessidade de gesso e NC a necessidade de calcário, ambas em t/ha.

Para essa metodologia, a quantidade de gesso a se aplicar é em função da espessura da camada que se quer corrigir. Então, a seguinte fórmula deve ser usada:

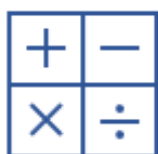
$$QG = NG \times \left(\frac{ES}{20}\right)$$

Onde QG é a quantidade de gesso em t/ha, NG é a necessidade de gesso em t/ha e ES é a espessura da camada de solo que se quer corrigir em cm.

Tabela 9 - Metodologias para recomendação de dose de gesso agrícola¹⁸.

Fórmula	Fonte
$NG = 6x \text{ argila}$	Boletim 100 – Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo (RAIJ et al., 1997)
$NG = 5x \text{ argila}$ $NG = 7,5x \text{ argila}$	Uso de gesso agrícola nos solos do cerrado (SOUSA; LOBATO; REIN, 2005)
$NG = 0,25xNC$ $QG = NGx\left(\frac{ES}{20}\right)$	Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação (RIBEIRO; GUIMARÃES; ALVAREZ, 1999)

A ação do gesso no solo pode se estender por mais de cinco anos, dependendo das condições de solo e clima do local. No entanto, a frequência ideal de aplicação deve ser determinada pela análise de solo em camadas subsuperficiais. Quando os níveis críticos forem atingidos novamente, uma nova aplicação será necessária para manter o perfil do solo livre de alumínio, assegurando um ambiente favorável para o desenvolvimento radicular.



Um produtor rural vai plantar milho no Mato Grosso. Ele realizou amostragem das camadas de 0-20 cm e 20-50 cm. Os resultados da camada de 20-50 cm foram: teor de argila de 220 g/kg (22%), teor de Ca de 4,0 mmolc/dm³ e saturação por alumínio (m%) de 56%. A recomendação de calagem para a camada superficial (0-20 cm) foi de 3,7 t/ha.

Primeiramente verificamos se o solo atinge os critérios para aplicação de gesso. Como a saturação por alumínio (m%) foi maior que 30%, e os níveis de cálcio inferiores a 5,0 mmolc/dm³, haverá a necessidade de aplicação de gesso. Vamos então calcular as doses necessárias utilizando as três metodologias.

1. Metodologia do Boletim 100:

$$NG = 6 \times \text{argila}$$

$$NG = 6 \times 220$$

$$NG = 1.320 \text{ kg/ha}$$

2. Como o milho é uma cultura anual, vamos utilizar a fórmula:

$$NG = 5 \times \text{argila}$$

$$NG = 5 \times 220$$

$$NG = 1.100 \text{ kg/ha}$$

3. Baseando-se na recomendação de calcário, utilizamos a fórmula:

$$NG = 0,25 \times NC$$

$$NG = 0,25 \times 3,7$$

$$NG = 0,925 \text{ kg/ha}$$

Essa aplicação deverá corrigir a camada de 20 a 50 cm, conforme análise de solo realizada. Essa camada tem 30 cm de espessura ($50 - 20 = 30$). Então usamos a fórmula:

$$QG = NG \times \left(\frac{ES}{20}\right)$$

$$QG = 0,925 \times \left(\frac{30}{20}\right)$$

$$QG = 0,925 \times 1,5$$

$$QG = 1,39 \text{ t/ha}$$

Portanto, usando a primeira metodologia, a recomendação foi de 1,3 t/ha (1.320 kg/ha). A recomendação com a segunda metodologia foi de 1,1 t/ha (1.100 kg/ha). E a recomendação com a terceira metodologia foi de 1,39 t/ha. O produtor pode escolher aplicar a maior dose, que no caso é de 1,39 t/ha.

Após a recomendação de calagem e gessagem, seguimos com a recomendação de adubação, que será abordada no próximo capítulo.

6 ADUBAÇÃO

A maioria dos solos brasileiros é naturalmente pobre em nutrientes devido ao intenso intemperismo típico de regiões tropicais. Essa baixa fertilidade geralmente não atende às necessidades das plantas cultivadas, exigindo a reposição de nutrientes por meio de adubação mineral, orgânica ou organomineral.

Além de aumentar a produtividade, a adubação contribui para a redução da erosão e a melhoria da infiltração de água, sendo, portanto, uma prática fundamental no contexto do Programa Produtor de Água. O fornecimento adequado de nutrientes favorece o crescimento vigoroso das plantas, proporcionando melhor cobertura do solo e reduzindo o impacto das gotas de chuva. A maior infiltração ocorre devido ao crescimento radicular, que melhora a aeração, e ao aumento da biomassa vegetal, que ao decompor-se, eleva os teores de matéria orgânica, aprimorando a estrutura e a capacidade de infiltração do solo.

Este capítulo aborda o manejo da adubação, começando com a apresentação dos principais tipos de adubos, suas características mais relevantes, e os impactos de cada tipo de adubo sobre o solo e a produtividade das culturas. Além disso, abordaremos o processo de produção de adubo orgânico por meio da compostagem. Por fim, explicaremos como calcular a dose correta de adubo com base na análise de solo e concluiremos com uma seção dedicada à recuperação de pastagens degradadas e outra para adubação de plantio de recomposição florestal.

6.1 Tipos de adubo

Os adubos podem ser classificados em três categorias principais: adubos minerais, orgânicos e organominerais. Cada um possui características distintas, e sua recomendação deve levar em conta as necessidades do solo e das culturas, bem como a realidade do produtor rural.

Os adubos minerais são fertilizantes inorgânicos e podem ser simples, contendo um único macronutriente, ou complexos, oferecendo uma mistura de nutrientes. Geralmente apresentam uma alta concentração de nutrientes, permitindo a correção rápida de deficiências nutricionais. Para consulta dos principais fertilizantes minerais e sua composição consulte esse [link¹⁹](#).

Os adubos orgânicos são materiais de origem biológica, obtidos da decomposição natural ou controlada de resíduos vegetais e animais. A disponibilização de nutrientes é mais lenta se comparado à adubos minerais. Contêm nutrientes em formas menos concentradas, mas promovem a melhoria da estrutura do solo e aumentam a atividade biológica. Para informações sobre os principais tipos de adubos orgânicos, consulte o documento anterior e também esse [link²⁰](#).

Os adubos organominerais são formulações que combinam nutrientes de fontes minerais com compostos orgânicos. Não existe um fertilizante organomineral amplamente disponível em todo o território nacional, como acontece com a ureia, que pode ser facilmente encontrada para aquisição em qualquer região. Atualmente, a produção de fertilizantes organominerais é predominantemente local. Um exemplo é nas áreas de criação de suínos, onde os dejetos são misturados com fertilizantes minerais, como o MAP.

Além das diferenças na composição e disponibilidade dos nutrientes, os tipos de adubação também influenciam a produtividade e os atributos do solo de maneiras distintas. A Tabela 10 resume a influência desses diferentes tipos de adubação.

19 <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1134679/1/cap14-livro-RecomendacaoCalagemAdubacao-AnaLuciaBorges-AINFO.pdf>

20 <https://www.bibliotecaagritea.org.br/agricultura/adubacao/ADUBACAO%20ORGANICA%20DE%20HORTALICAS%20E%20FRUTIFERAS.pdf>

Tabela 10 - Análise comparativa da intensidade da resposta da adubação mineral, orgânica e organomineral em diferentes indicadores de manejo. A quantidade de símbolo "+" reflete a intensidade da resposta de cada tipo de adubação²¹.

Característica	Mineral	Orgânico	Organomineral
Disponibilização rápida de nutrientes	+++	+	++
Disponibilização gradual de nutrientes	+	+++	++
Efeito residual no solo	+	+++	++
Aumento da produtividade das culturas	+++	++	+++
Aumento da matéria orgânica do solo	+	+++	++
Lixiviação	+++	+	++
Melhoria da estrutura do solo	+	+++	++
Disponibilidade de aquisição	+++	++	++

Além dos fertilizantes, há outra classe de produtos que desempenha um papel importante no manejo do solo: os biofertilizantes. Os biofertilizantes são produtos à base de micro-organismos vivos ou metabólitos que favorecem o crescimento das plantas ao melhorar a disponibilidade de nutrientes no solo. Diferentemente dos outros fertilizantes, eles não fornecem nutrientes diretamente, mas estimulam processos biológicos, como a fixação de nitrogênio e a solubilização de fósforo. Além disso, contribuem para a saúde do solo e podem reduzir a dependência de fertilizantes químicos.

6.2 Boas práticas

Uma aplicação eficiente de fertilizantes vai além do ajuste da dose, exigindo atenção à fonte, época e local de aplicação. O conceito 4C de nutrição de plantas integra esses aspectos para otimizar a produtividade agrícola e minimizar impactos ambientais. Baseado nos princípios de Dose Certa, Fonte Certa, Época Certa e Local Certo. A aplicação desses princípios é essencial no contexto do Programa Produtor de Água, pois contribui para reduzir a lixiviação de nutrientes, protegendo os recursos hídricos e melhorando a qualidade da água nas microbacias.

A Época Certa sincroniza a aplicação com as fases de maior demanda nutricional da planta, levando em conta o ciclo de desenvolvimento e fatores ambientais, como clima e umidade do solo. A Tabela 11 apresenta recomendações práticas considerando os fatores climáticos e de solo, destacando também as consequências de aplicar fertilizantes em condições adversas.

²¹ Fonte: Adaptado de Brasil; Cravo; Viégas (2020).

Tabela 11 - Recomendações sobre a Época Certa e consequências da aplicação de fertilizantes em condições adversas de clima e solo²².

Categoria	Condição	Recomendação	Consequências
Clima	Muito seco	Evitar a aplicação de fertilizantes. Esperar previsão de chuva moderada ou realizar irrigação após a aplicação	Perda de nutrientes por volatilização e baixa absorção pela planta
Clima	Muito chuvoso	Evitar a aplicação antes de chuvas fortes. Aplicar com previsão de chuvas moderadas ou em períodos de menor intensidade de chuva	Lixiviação, escoamento superficial e contaminação de corpos d'água, além de baixa eficiência da adubação.
Solo	Encharcado	Evitar a aplicação. Aguardar alguns dias até a drenagem da água acumulada	Perda de nitrogênio por desnitrificação* e baixa absorção de nutrientes pelas plantas
Solo	Seco	Evitar a aplicação. Programar a adubação para ser seguida de irrigação ou aplicar quando houver previsão de chuvas moderadas	Nutrientes indisponíveis até que o solo receba umidade, resultando em baixa eficiência

* A desnitrificação é um processo que resulta na perda de nitrogênio do solo, transformando-o em gás liberado para a atmosfera.

O Local Certo refere-se ao posicionamento estratégico dos fertilizantes em relação às raízes, considerando o método de aplicação e a profundidade ideal para maximizar a absorção. A Tabela 12 apresenta diretrizes gerais sobre a localização de adubação recomendadas para diferentes tipos de culturas, considerando as fases de implantação e manutenção.

Tabela 12 - Diretrizes gerais sobre o Local Certo da adubação de acordo com o tipo e fase da cultura²³.

Cultura	Fase	Método	Localização ideal
Anual	Implantação	Em sulco	5-10 cm abaixo e 5 cm ao lado da semente
Anual	Manutenção	A lanço	Superfície
Perene	Implantação	Em covas	20-40 cm de profundidade, misturado ao solo
Perene	Manutenção	Sob projeção da copa	Superfície, até a borda da projeção da copa
Pastagem	Implantação	A lanço	Superfície, incorporado levemente
Pastagem	Manutenção	A lanço	Superfície, após pastejo ou corte
Hortaliças	Implantação	Localizada	5-10 cm de profundidade, 5-10 cm da muda
Hortaliças	Manutenção	Fertirrigação	Aplicação via sistema de irrigação

A Fonte Certa envolve a escolha do fertilizante mais adequado, considerando o tipo (mineral, orgânico ou organomineral), a solubilidade e as características do produto. Esse assunto foi abordado na seção anterior e na Tabela 10.

²² Fonte: Adaptado de Brasil; Cravo; Viégas (2020).

²³ Fonte: Adaptado de Brasil; Cravo; Viégas (2020).

A Dose Certa garante a aplicação da quantidade ideal de nutrientes, ajustada às necessidades da cultura, à fertilidade do solo e às condições locais, evitando perdas e maximizando a eficiência. A seguir discutiremos como calcular a dose de fertilizante correta.

6.3 Recomendação de adubação

No Brasil as recomendações são regionalizadas, com cada região, estado, ou grupo de estados adotando metodologias específicas que consideram as condições locais de solo e clima. A Tabela 4 (Capítulo 4) apresenta as principais fontes de informação utilizadas para recomendações de adubação no Brasil, destacando as regiões onde cada referência é aplicada.



É importante destacar que as recomendações fornecidas por essas fontes servem como um ponto de partida. Com a experiência e a observação da resposta da cultura ao longo do tempo, os produtores podem ajustar as doses e outros parâmetros, como localização, fonte e época de aplicação, para melhor atender às necessidades específicas da sua propriedade.

O Boletim 100 (Boletim Técnico 100 – Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo) (RAIJ et al., 1997) é a fonte de informação sobre recomendação mais completa disponível, baseado em extensa pesquisa de campo e parceria entre várias instituições. Ele foi usado como base para a criação de fontes de recomendação para outras regiões, bem como ainda é empregado em outras regiões fora de São Paulo. Portanto, na ausência de um sistema de recomendação específica para sua região, o Boletim 100 é um bom ponto de partida. O Boletim 100 já tem mais de duas décadas e por isso foi realizado o Boletim 200, uma atualização de algumas culturas e inclusão de novas (AGUIAR et al., 2014), embora o Boletim 100 ainda seja mais fácil e intuitivo de usar.

O Boletim 100 utiliza um sistema simples de recomendação de adubação baseado em parâmetros da análise de solo e a produtividade esperada da cultura para recomendar a dose da adubação de base. Para a adubação de cobertura, a análise de solo e a classe de resposta a nitrogênio são utilizados como parâmetro. A seguir, apresentaremos um exemplo que detalham o processo de cálculo da quantidade de fertilizante ou fórmula NPK necessária.



Suponha que um produtor rural vai plantar milho para grãos no estado de São Paulo. O solo possui textura média e o produtor realiza algumas práticas de manejo conservacionistas esporádicas, como plantio de um adubo verde a cada 3 a 5 anos. O resultado da análise de solo para P foi de 22 mg/dm³ e para K de 2,0 mmol_c/dm³.

Com base no Boletim 100 (Figura 5), primeiro vamos definir a dose de cada nutriente (etapa 1). Depois vamos fazer o cálculo da quantidade de fertilizantes a ser aplicada em caso de utilização de fertilizantes simples (etapa 2) e fertilizantes compostos (etapa 3).

13.7. Milho para grãos e silagem

Espaçamento - para a produção de grãos: 0,80 a 0,90 m entre linhas com 5 plantas por metro de linha; para silagem: 0,90 a 1,00 m entre linhas, com 5 plantas por metro de linha.

Calagem: Aplicar calcário para elevar a saturação por bases a 70% e o magnésio a um teor mínimo de 5 mmol/dm³. Em solos com teores de matéria orgânica acima de 50 g/dm³, basta elevar a saturação por bases a 50%.

Adubação mineral de plantio: Aplicar de acordo com a análise de solo e a produtividade esperada, conforme a seguinte tabela:

Produtividade Esperada	Nitro-gênio	P resina, mg/dm ³				K+ trocável, mmol/dm ³			
		0-6	7-15	16-40	>40	0-0,7	0,8-1,5	1,6-3,0	>3,0
t/ha	N, kg/ha	P ₂ O ₅ , kg/ha				K ₂ O, kg/ha (²)			
2- 4	10	60	40	30	20	50	40	30	0
4- 6	20	80	60	40	30	50	50	40	20
6- 8	20	90	70	50	30	50	50	50	30
8-10	30	(¹)	90	60	40	50	50	50	4
10-12	30	(¹)	100	70	50	50	50	50	50

(¹) É improvável a obtenção de alta produtividade de milho em solos com teores muito baixos de P, independentemente de dose de adubo empregada. (²) Para evitar excesso de sais, no sulco de plantio, a adubação potássica para doses maiores que 50 kg/ha de K₂O está parcelada, prevendo-se a aplicação em cobertura.

Figura 5 - Trecho do Boletim onde mostra a recomendação de adubação de base (adubação de plantio) para a cultura do milho.

Fonte: adaptado de Rajj et al. (1997).

Etapas 1 - Definição da dose recomendada

O primeiro passo é definir a produtividade esperada, preferencialmente com base no histórico da área. Se o produtor já cultivou milho, utiliza-se a média das produtividades anteriores. Caso contrário, pode-se usar dados de fazendas vizinhas com solo e manejo semelhantes, ou estimar pela análise de solo: solos com baixa argila e nutrientes tendem a baixa produtividade, enquanto solos argilosos e férteis indicam alta produtividade. Neste exemplo, considerando um histórico médio de produtividade e teores médios de nutrientes no solo, a expectativa é de 6-8 t/ha (destacado em vermelho).

- Definição da dose de nitrogênio (N) – com base na coluna de N, a dose de N a ser aplicada para uma produtividade de 6-8 t/ha é de 20 kg/ha.
- Definição da dose de fósforo (P₂O₅) - com base na coluna P resina, para uma produtividade de 6-8 t/ha, e levando em conta o resultado da análise de solo de 22 mg/dm³, a dose de P₂O₅ a ser aplicada é de 50 kg/ha.
- Definição da dose de potássio (K₂O) - com base na coluna K trocável, para uma produtividade de 6-8 t/ha, e levando em conta o resultado da análise de solo de 2,0 mmolc/dm³, a dose de K₂O a ser aplicada é de 50 kg/ha.

Etapas 2 - Cálculo da quantidade de fertilizantes simples a ser aplicada

Vamos supor que o produtor rural disponha de fertilizantes simples (e não fórmulas NPK). Na sua propriedade, o produtor tem disponível a ureia (45% N), superfosfato triplo (ST, 45% de P₂O₅) e cloreto de potássio (KCl, 61% de K₂O). Por regra de três, descobrimos a quantidade de cada fertilizante.

100 kg de ureia → 45 kg de N 100 kg de ST → 45 kg de P_2O_5 100 kg de KCl → 61 kg de P_2O_5

X → 20 kg de N

X → 50 kg de P_2O_5

X → 50 kg de P_2O_5

$$45X = 100 \times 20$$

$$45X = 1000 \times 50$$

$$61X = 1000 \times 50$$

$$45X = 2000$$

$$45X = 5000$$

$$61X = 5000$$

$$X = 2000 / 45$$

$$X = 5000 / 45$$

$$X = 5000 / 61$$

$$X = 44 \text{ kg/ha de ureia}$$

$$X = 111 \text{ kg/ha ST}$$

$$X = 82 \text{ kg/ha KCl}$$

Portanto para atingir a dose recomendada de 20 kg/ha de N, 50 kg/ha de P_2O_5 e 50 kg/ha de K_2O , deve-se aplicar 44 kg/ha de ureia, 111 kg/ha de superfosfato triplo e 82 kg/ha de cloreto de potássio.

Etapas 3 – Cálculo da quantidade de fertilizante composto a ser aplicada

Vamos supor que o produtor queira aplicar um fertilizante composto (fórmula NPK). Ele tem disponível em sua propriedade ou consegue adquirir as seguintes fórmulas: 4-14-8, 10-10-10, 6-18-12 e 6-30-6.

Passo 1: estabelecer a relação de nutrientes da recomendação. Para isso, divida a quantidade de cada nutriente recomendado pelo menor valor entre eles. Neste exemplo, a recomendação é de 20 kg/ha de N, 50 kg/ha de P_2O_5 e 50 kg/ha de K_2O . O menor valor é 20 kg/ha (para o nitrogênio - N). Então, dividimos todos os valores por 20:

$$20/20 : 50/20 : 50/20$$

Portanto, a relação de nutrientes recomendados é de 1:2,5:2,5

Passo 2: identificar a fórmula NPK que tenha uma proporção igual ou mais próxima à proporção calculada. Para fazer isso, divida os teores de nutrientes de cada fórmula NPK pelo menor valor entre eles. Assim, você poderá comparar a relação entre os nutrientes da fórmula com a proporção estabelecida no passo anterior, escolhendo a fórmula que mais se aproxima da recomendação de nutrientes.

$$4/4 : 14/4 : 8/4 \rightarrow \text{relação de } 1:3,5:2$$

$$10/10 : 10/10 : 10/10 \rightarrow \text{relação de } 1:1:1$$

$$6/6 : 18/6 : 12/6 \rightarrow \text{relação de } 1:3:2$$

$$6/6 : 30/6 : 6/6 \rightarrow \text{relação de } 1:5:1$$

Não há nenhuma fórmula que tenha a mesma relação dos nutrientes recomendados. A fórmula que apresenta a relação mais próxima é a 6:18:12.

Passo 3 – calcular a quantidade de fertilizante composto a ser aplicado. Para isso vamos utilizar a seguinte equação:

$$QNA = \frac{(N + P_{2O5} + K_2O) \times 100}{(N + P_{2O5} + K_2O)}$$

Onde, QNA é a quantidade necessária de adubo em kg/ha, (N + P_2O_5 + K_2O) é a soma da quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio. A parte superior da fórmula refere-se à quantidade de nutriente recomendada em kg/ha, e a parte inferior refere-se à fórmula NPK que será aplicada. Dessa forma, temos:

$$QNA = \frac{(20 + 50 + 50) \times 100}{(6 + 18 + 12)}$$

$$QNA = \frac{(120) \times 100}{(36)}$$

$$QNA = \frac{12.000}{36}$$

$$QNA = 333$$

Portanto, deve-se aplicar 333 kg/ha da fórmula 6:18:12

6.4 Recomendação de adubação orgânica

As recomendações de boletins e manuais são baseadas no uso de fertilizantes minerais, que possuem alta concentração e rápida solubilidade, fornecendo nutrientes de forma imediata. Em contraste, os fertilizantes orgânicos têm concentrações menores e solubilização mais lenta, liberando nutrientes gradualmente. Por isso, as doses recomendadas de fertilizantes orgânicos são maiores, geralmente entre 10 e 50 t/ha.

Na recomendação da dose de fertilizante orgânico, além de considerar a concentração de nutrientes, como foi feito na adubação mineral, é necessário também incluir o teor de matéria seca e a eficiência agronômica do fertilizante. O teor de matéria seca refere-se à quantidade de material que permanece após a secagem. A eficiência agronômica refere-se à proporção do nutriente contida no adubo orgânico que será liberado no solo para as plantas. A dose de fertilizante orgânico pode então ser calculada pela seguinte fórmula:

$$A = \frac{QN}{\left(\frac{B}{100}\right) \times \left\{\left(\frac{C}{100}\right) \times D\right\}}$$

Onde A é a dose do fertilizante orgânico em kg/ha; QN é a quantidade de nutriente necessária da recomendação em kg/ha; B é o teor de matéria seca em %; C é a concentração do nutriente no fertilizante orgânico em %; D é o índice de eficiência agronômica para o nutriente daquele adubo orgânico.

Os valores médios de eficiência agronômica (D) dos nutrientes em diferentes adubos podem ser visualizados na tabela 9.5 (página 323) do Manual de Calagem e Adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, nesse [link](#)²⁴.

Vamos voltar no exemplo do produtor que vai plantar milho no Estado de SP. Vimos que a necessidade dos nutrientes foi de 20 kg/ha de N, 50 kg/ha de P₂O₅ e 50 kg/ha de K₂O. Vamos supor que ele tenha disponível na propriedade cama de frango e farinha de osso. Ele não realizou análise dos adubos e, portanto, vamos utilizar valores médios encontrados em tabelas. As informações do teor de matéria seca e a concentração de nitrogênio foram retiradas desse [link](#)²⁵. Já a eficiência agronômica foi retirada desse [link](#)²⁶. Vamos começar calculando a quantidade de cama de frango necessária para fornecer o nitrogênio. Temos que:



24 https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf

25 <https://www.bibliotecaagritea.org.br/agricultura/adubacao/ADUBACAO%20ORGANICA%20DE%20HORTALICAS%20E%20FRUTIFERAS.pdf>

26 https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/Manual_de_Calagem_e_Adubacao_para_os_Estados_do_RS_e_de_SC-2016.pdf

- Quantidade necessária de nitrogênio (QN) (ver seção 7.3) = 20 kg/ha
- Teor de matéria seca da cama de frango (B) = 72%
- Concentração do nitrogênio na cama de frango (C) = 2,2
- Eficiência agrônômica do nitrogênio na cama de frango (D) = 0,5

Colocando esses valores na fórmula temos:

$$A = \frac{QN}{\left(\frac{B}{100}\right) \times \left\{\left(\frac{C}{100}\right) \times D\right\}} = \frac{20}{\left(\frac{72}{100}\right) \times \left\{\left(\frac{2,2}{100}\right) \times 0,5\right\}} = \frac{20}{(0,72) \times \{(0,022) \times 0,5\}}$$

$$A = \frac{20}{(0,72) \times \{0,011\}} = \frac{20}{0,00792}$$

$$A = 2525 \text{ Kg/ha}$$

Portanto, precisamos aplicar 2525 kg/ha de cama de frango para fornecer 20 kg/ha de N. No entanto, quando aplicamos cama de frango, estamos fornecendo também P_2O_5 e K_2O além do N. Abaixo os cálculos das quantidades fornecidas desses nutrientes.

$$P2O5 = 2525 \times \left(\frac{2,4}{100}\right) \times \left(\frac{72}{100}\right) \times 0,8 = 35 \text{ kg/ha}$$

$$K2O = 2525 \times \left(\frac{2,7}{100}\right) \times \left(\frac{72}{100}\right) \times 1,0 = 49 \text{ kg/ha}$$

Portanto, ao aplicar 2525 kg/ha de cama de frango, estamos fornecendo 20 kg/ha de N, 35 kg/ha de P_2O_5 e 49 kg/ha de K_2O . Como a demanda da cultura era de 20, 50 e 50 de N, P_2O_5 , e K_2O , respectivamente, ainda falta 15 kg/ha de P_2O_5 e 1 kg/ha de K_2O . Vamos realizar então o cálculo para o P_2O_5 utilizando a farinha de osso.

$$A = \frac{QN}{\left(\frac{B}{100}\right) \times \left\{\left(\frac{C}{100}\right) \times D\right\}} = \frac{15}{\left(\frac{94}{100}\right) \times \left\{\left(\frac{27,3}{100}\right) \times 0,7\right\}} = \frac{15}{(0,94) \times \{(0,273) \times 0,7\}}$$

$$A = \frac{15}{(0,94) \times \{0,1911\}} = \frac{15}{0,1796} =$$

$$A = 84 \text{ Kg/ha}$$

Portanto, para aplicar 15 kg/ha de P_2O_5 , devemos aplicar 84 kg/ha de farinha de osso. Note que o valor de eficiência agrônômica da farinha de osso não consta na tabela utilizada do documento, e por isso foi utilizado o valor referente a "Outros resíduos orgânicos". Ao aplicar a farinha de osso para fornecer o restante do P_2O_5 , estamos fornecendo também N e K_2O . Abaixo os cálculos:

$$N = 84 \times \left(\frac{4,1}{100}\right) \times \left(\frac{94}{100}\right) \times 0,5 = 2 \text{ kg/ha}$$

$$K2O = 84 \times \left(\frac{4,3}{100}\right) \times \left(\frac{94}{100}\right) \times 1,0 = 3 \text{ kg/ha}$$

Ao final, estamos fornecendo 22 kg/ha de N (20 da cama de frango + 2 da farinha de osso), 50 kg/ha de P_2O_5 (35 da cama de frango + 15 da farinha de osso), e 52 kg/ha de K_2O (49 da cama de frango + 3 da farinha de osso). Essas pequenas diferenças de N e K_2O não são um problema para a adubação orgânica e não vão causar prejuízos às plantas.

Em vez de adquirir adubos orgânicos prontos conforme os utilizados nos exemplos acima, o produtor pode produzir seu próprio adubo orgânico, por meio do processo de compostagem, para uso na própria propriedade. Essa técnica será detalhada na próxima seção.

6.5 Compostagem

Compostagem é um processo biológico em que a matéria orgânica, como resíduos vegetais, estrume e restos de alimentos, é decomposta em condições controladas para produzir um material rico em nutrientes, conhecido como composto.

A compostagem é uma prática interessante dentro do Programa Produtor de Água por oferecer múltiplos benefícios. Primeiramente, permite que o produtor rural produza seu próprio adubo, reduzindo custos com insumos externos. O uso do composto melhora a fertilidade do solo, fornecendo nutrientes essenciais, além de aprimorar seus atributos físicos, como estrutura e retenção de água, favorecendo a infiltração e diminuindo a erosão. Além disso, a compostagem utiliza os resíduos orgânicos gerados na propriedade, reduzindo o acúmulo de materiais que poderiam se tornar fontes de poluição ou aumentar os riscos de incêndio, especialmente em períodos secos. Assim, a compostagem alia economia, sustentabilidade e conservação do solo e da água.

Para que a compostagem seja eficiente, é essencial garantir condições ideais para a atividade microbiana. Os seguintes fatores são importantes para uma boa compostagem: 1) relação C/N; 2) umidade; 3) aeração; 4) temperatura e; 5) microrganismos. A seguir, detalharemos cada fator, explicando como monitorá-los e manejá-los de forma adequada.

6.5.1 Relação C/N

A relação C/N (proporção entre carbono e nitrogênio) é um dos fatores mais críticos na compostagem. O ideal para o início do processo é uma relação entre 25:1 e 30:1. Relações altas (C/N acima de 40:1) tornam a decomposição mais lenta devido à falta de nitrogênio, enquanto relações baixas (abaixo de 20:1) podem gerar odores desagradáveis e perda de nitrogênio na forma de amônia, reduzindo a eficiência.

Resíduos orgânicos usados na compostagem, como restos de alimentos, folhas, grama, estrume e resíduos agrícolas, são classificados em dois grupos: ricos em carbono e ricos em nitrogênio. O equilíbrio entre esses dois materiais é essencial para uma decomposição eficiente. A pilha deve ser montada com uma relação C/N final de aproximadamente 30. Na prática, mistura-se 1 parte de material rico em nitrogênio (ex.: esterco de aves) para 3 a 5 partes de material rico em carbono (ex.: palha). Se análises de C e N forem disponíveis, pode-se usar cálculos mais precisos. Na ausência delas, tabelas com valores médios, como os exemplos da Tabela 13 podem ser utilizadas. A mistura dos materiais deve seguir a seguinte fórmula:

$$PMRC = \frac{(30 \times Nn) - Cn}{Cc - (30 \times Nc)}$$

Onde, PMRC = partes de material rico em carbono; Nn = teor de N do material rico em nitrogênio; Cn = teor de carbono (C) do material rico em N; Cc = teor de carbono do material rico em C; Nc = teor de N do material rico em C.

Tabela 13 - Composição de alguns materiais usados em compostagem²⁷.

Material	%C	%N	C/N
Amoreira – folhas	45	3,8	12
Banana – talo e cachos	47	0,7	67
Aveia – cascas e palha	47	0,8	59
Banana – talo e cachos	47	0,7	67
Borra de café	50	2,3	22
Café - cascas	30	0,9	33
Café - palha	52	0,6	87
Capim cidreira	59	0,8	74
Capim gordura	51	0,6	85
Capim pé de galinha	48	1,2	40
Casca de arroz	30	0,8	38
Crotalaria	51	1,9	27
Esterco aves	29	2,7	11
Esterco de bovinos	53	1,7	31
Esterco equinos	25	1,6	16
Esterco suínos	29	1,8	16
Feijão guandu - palhas	52	1,8	29
Feijão - palha	52	1,6	33
Folha de banana	49	2,6	19
Folha de mandioca	52	4,3	12
Grama batatais	50	1,4	36
Grama seda	50	1,6	31
Ingá - folhas	51	2,1	24
Laranja - bagaço	13	0,7	19
Mamona - cápsulas	62	1,2	52
Mandioca - cascas	53	0,5	106
Mandioca - ramas	52	1,3	40
Milho - palhas	54	0,5	108
Milho - sabugo	53	0,5	106
Serragem de madeira	52	0,06	867
Serapilheira	16	1,0	16
Trigo - cascas	48	0,9	53
Trigo - palhas	51	0,7	73

²⁷ Fonte: Penteado (2010).



Vamos supor que um produtor cultiva café e gera resíduos de palha de café e pretende utilizá-los para produzir composto orgânico. Ele tem 5 toneladas de resíduos de palha de café. Para montar a pilha, ele pretende utilizar esterco de suínos pela facilidade de acesso na região. Embora não tenha feito uma análise específica dos materiais, ele optou por usar valores médios tabelados. Assim, ao consultar a Tabela 13, verificamos que a composição dos materiais que ele utilizará é:

- Palha de café: C% = 52; N% = 0,6; C/N = 87
- Esterco de suínos: C% = 29; N% = 1,8; C/N = 16

A palha de café é o material rico em carbono e o esterco de suínos o material rico em nitrogênio. Colocando os valores na fórmula temos:

$$PMRC = \frac{(30 \times Nn) - Cn}{Cc - (30 \times Nc)} = \frac{(30 \times 1,8) - 29}{52 - (30 \times 0,6)}$$

$$PMRC = \frac{(54) - 29}{52 - (18)} = \frac{25}{34}$$

$$PMRC = 0,74$$

Esse resultado indica que para cada unidade de material rico em nitrogênio, o produtor deve usar 0,74 unidades de material rico em carbono. Nesse caso, isso quer dizer que, para cada unidade de esterco de suínos, o produtor deve usar 0,74 unidades de palha de café. Como ele possui 5 toneladas de palha de café, a quantidade de esterco que ele vai ter que colocar para montar a pilha é:

$$\text{Quantidade de material rico em N} = \frac{\text{Quantidade de material rico em C}}{PMRC}$$

$$\text{Quantidade de material rico em N} = \frac{5.000}{0,74}$$

$$\text{Quantidade de material rico em N} = 6.756 \text{ kg}$$

Portanto, o produtor vai precisar de 6.756 kg de esterco de suínos, que juntamente com 5.000 kg de palha de café, vai formar uma pilha de compostagem de 11.756 kg com relação C/N inicial de 30.

6.5.2 Umidade

A umidade é outro fator crucial que influencia diretamente a atividade microbiana e a taxa de decomposição. Níveis de umidade entre 40% e 60% são ideais para a compostagem. Se a pilha estiver muito seca, a atividade microbiana diminui, retardando o processo. Por outro lado, excesso de umidade pode criar condições anaeróbicas, levando a mau cheiro e à produção de compostos indesejados.

Para monitorar a umidade da pilha de compostagem, o método mais simples é o teste de mão, onde uma amostra de material é retirada da pilha e espremida com as mãos. Se o material liberar apenas algumas gotas de água e manter sua forma sem se desfazer, a umidade está adequada. Se estiver muito seco, ele se esfarelará, e se estiver encharcado, escorrerá muita água (Foto 5).



Foto 5 - Teste de mão para verificar a umidade do composto:
esquerda = muito seco; centro = muito úmido; direita = umidade adequada
Fonte: modificado de EPAGRI (2022)

Se a pilha estiver seca, pode-se adicionar água de forma gradual, preferencialmente durante a mistura dos materiais para garantir uma distribuição uniforme. Se estiver muito úmida, a solução é revirar a pilha para permitir a evaporação do excesso de umidade.

6.5.3 Aeração

A aeração é essencial para manter um ambiente aeróbico na pilha de compostagem, favorecendo a decomposição eficiente da matéria orgânica. O nível ideal de oxigênio varia entre 5% e 20%. Insuficiência de aeração torna a pilha anaeróbica, resultando em decomposição lenta e odores desagradáveis, enquanto o excesso de aeração pode ressecar a pilha, prejudicando o processo.

Métodos simples para avaliar a aeração incluem observar odores (como enxofre ou amônia, indicando falta de oxigênio) ou monitorar a temperatura, cuja queda pode sinalizar insuficiência de oxigênio. Para medições mais precisas, sondas de oxigênio podem ser usadas.

Na montagem, alterne camadas de materiais ricos em carbono (palha, folhas) e nitrogênio (esterco) para promover a circulação de ar. Evite cortar os materiais em pedaços muito pequenos, o que pode causar compactação. Durante a manutenção, revirar a pilha a cada uma ou duas semanas é fundamental para manter a oxigenação e prevenir zonas anaeróbicas.

6.5.4 Temperatura

A temperatura é um indicador essencial do progresso da compostagem. No início, a atividade microbiana gera calor rapidamente, elevando a temperatura da pilha para cerca de 40°C. Em seguida, durante a fase termófila, a temperatura atinge entre 50°C e 70°C, o que promove a decomposição de materiais mais complexos e elimina patógenos e sementes de ervas daninhas. Essa fase dura algumas semanas. Conforme o processo avança, a temperatura diminui gradualmente (30°C a 40°C), marcando a fase mesófila, na qual microrganismos decompõem materiais mais resistentes. Por fim, a temperatura se estabiliza próxima à ambiente, indicando que o composto está maduro e pronto para uso.

A medição da temperatura pode ser feita com um termômetro de haste longa inserido no centro da pilha, onde a atividade microbiana é mais intensa. Alternativamente, uma haste metálica pode ser utilizada: se ela estiver quente ao toque, a temperatura está adequada (40°C a 70°C); se estiver morna ou fria, isso indica baixa atividade microbiana. Temperaturas acima de 70°C exigem o revolvimento da pilha para evitar o superaquecimento, enquanto temperaturas abaixo de 40°C durante a fase ativa sugerem falta de oxigênio ou desequilíbrio nos materiais, sendo necessário revirar a pilha, ajustar a umidade ou adicionar mais materiais ricos em nitrogênio.

6.5.5 Microrganismos

Os microrganismos são os principais agentes do processo de compostagem, responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. Manter condições ideais de umidade, temperatura, e aeração é essencial para sustentar populações saudáveis desses microrganismos, garantindo uma decomposição eficiente e a produção de composto de alta qualidade.

Medir a quantidade e a diversidade de microrganismos em uma pilha de compostagem é mais complexo do que avaliar outros indicadores, como temperatura ou umidade. A medição requer equipamentos mais sofisticados como respirômetro ou ainda testes de laboratório. No entanto, a temperatura da pilha serve como uma medida indireta da atividade microbiana, pois temperaturas elevadas indicam uma intensa decomposição orgânica realizada pelos microrganismos, enquanto temperaturas mais baixas podem sinalizar uma diminuição dessa atividade.

Para garantir uma boa população de microrganismos na pilha de compostagem, é importante inoculá-la adequadamente durante a montagem. Uma prática simples é adicionar uma camada de solo ou composto já pronto, que atua como um inóculo natural, introduzindo microrganismos essenciais. Outra opção é usar inóculos comerciais, que contêm microrganismos selecionados para acelerar a decomposição.

6.5.6 Montagem e manutenção da pilha

Para montar uma pilha de compostagem, escolha um local com boa drenagem, protegido de ventos fortes e luz solar direta. O ideal é que a área permita fácil acesso para revolver a pilha e adicionar novos materiais. A Foto 6 mostra duas pilhas em formato de cone em um local coberto e com espaço para revolvimento.



Foto 6 - Pilhas de compostagem no formato de cone em locais cobertos e com espaço entre si para que seja possível o revolvimento, em Brasília (DF), 2024
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

Comece intercalando camadas de materiais ricos em carbono com camadas de materiais ricos em nitrogênio. A pilha deve ter aproximadamente de 1,0 a 1,5 metro de altura e largura, garantindo um volume suficiente para atingir as temperaturas adequadas para a decomposição.

O tamanho ideal dos materiais usados para formar a pilha de compostagem é importante para garantir uma decomposição eficiente. Como regra geral, os materiais orgânicos não devem ser maiores que 5 a 10 cm de comprimento. Pedacos muito grandes, como galhos e troncos, devem ser picados ou triturados antes de serem adicionados à pilha, pois eles se decompõem muito lentamente. No

entanto, evite picar os materiais em pedaços muito pequenos (menos de 2 cm), pois isso pode levar à compactação e prejudicar a aeração da pilha.

A manutenção envolve principalmente revirar a pilha para garantir a aeração. Nos primeiros dias após a montagem, a pilha deve ser revirada semanalmente para assegurar que todos os materiais recebam oxigênio e o processo de decomposição seja homogêneo. Após a fase termófila (quando a temperatura atinge o pico), a frequência de reviramento pode ser reduzida para a cada duas semanas, à medida que a temperatura começa a cair e o processo entra na fase mesófila. Continue verificando a umidade e ajuste conforme necessário, adicionando água ou revirando a pilha para dissipar o excesso de umidade.

O progresso da compostagem pode ser observado visualmente. No início, os materiais estão pouco alterados, com pedaços grandes ainda visíveis. Com o avanço do processo, o material se torna menor e mais homogêneo, como mostrado na Foto 7. O composto está pronto quando adquire uma coloração marrom-escura, textura fina e friável, semelhante ao solo, e um cheiro agradável de terra. Restos originais, como alimentos ou folhas, devem estar completamente decompostos e indistinguíveis. Se o composto ainda exalar odor forte de amônia ou decomposição, o processo não foi concluído.



Foto 7 - Evolução do processo de compostagem: à esquerda os materiais ainda são grandes, o que demonstra o início do processo; à direita os materiais estão menores, indicando um processo avançado, em Brasília (DF), 2024
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

Um método prático para avaliar se o composto está pronto é o teste de germinação. Misture um pouco do composto com solo e plante sementes. Se as sementes germinarem rapidamente e crescerem de forma saudável, isso é um bom indicativo de que o composto está pronto e livre de substâncias fitotóxicas. Após a finalização, o composto pode ser peneirado e armazenado para uso agrícola.

6.6 Recuperação de pastagens degradadas

A degradação de pastagens é um problema recorrente em áreas de pecuária extensiva, onde o manejo inadequado resulta na perda da capacidade produtiva da forragem. Aproximadamente metade das pastagens no Brasil apresentam algum nível de degradação, o que representa mais de 100 milhões de hectares de pastagens degradadas. Uma pastagem degradada é, essencialmente, uma pastagem que perdeu sua capacidade de produzir de forma eficiente, operando abaixo de seu verdadeiro potencial produtivo.

A principal causa da degradação das pastagens é o manejo inadequado do pastejo, combinado com a reposição insuficiente de nutrientes, o que reduz a competitividade da forrageira e favorece o

surgimento de plantas daninhas. Estas últimas, ao contrário do que se acredita, são consequências e não a causa primária da degradação.

Uma pastagem degradada tende a apresentar maior ocorrência de erosão do solo. Consequentemente, a recuperação da pastagem reduz significativamente os processos erosivos, tornando-se uma atividade estratégica no contexto do Programa Produtor de Água

Nesta seção, será abordada a recuperação da fertilidade do solo como uma estratégia central para a revitalização de pastagens degradadas. A fertilidade do solo é o alicerce para o crescimento vigoroso da forrageira e para a restauração da capacidade produtiva da área. Vamos discutir em quais situações é mais adequado optar pela recuperação ou renovação (reforma) da pastagem, e como implementar essas práticas de forma eficiente. Vale ressaltar que a recuperação da pastagem vai além da correção da fertilidade do solo, incluindo práticas como a implementação de terraços e o manejo do pastejo rotacionado. Para mais informações sobre outras técnicas que podem ser empregadas conjuntamente na recuperação, consulte os manuais de práticas mecânicas e vegetativas.

6.6.1 Diagnóstico da degradação

Uma pastagem degradada perde sua capacidade de sustentar a produção ao longo do tempo. Se o produtor realiza um monitoramento anual da produtividade e nota uma queda contínua, isso indica que a pastagem está em processo de degradação. A diminuição da fertilidade também é um dos principais indicadores de degradação. A reposição inadequada de nutrientes compromete o equilíbrio da fertilidade do solo, agravando o processo de degradação. Assim como para a produtividade, há a necessidade de um acompanhamento contínuo para que seja possível detectar.

No entanto, caso o acompanhamento de produtividade e fertilidade do solo não seja feito, ainda há sinais visíveis que podem ajudar o produtor a avaliar o estado de conservação da pastagem:

- **Solo exposto:** o aumento da área de solo descoberto indica uma queda na fertilidade do solo, resultado provavelmente da falta de reposição de nutrientes (Foto 8).
- **Presença de plantas daninhas:** a proliferação de plantas invasoras ocorre quando a forrageira perde a capacidade de competir por luz, nutrientes e água.



Foto 8 - Pastagem degradada evidenciando grande quantidade de solo exposto, em Itai (SP), 2016
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

Entretanto, é importante considerar as características das espécies forrageiras. Por exemplo, espécies cespitosas, como o capim Mombaça, tendem a formar touceiras, expondo mais o solo naturalmente. Logo, o diagnóstico deve ser ajustado ao tipo de forragem presente.

6.6.2 Decisão de manejo

A decisão entre recuperar ou renovar uma pastagem depende da condição atual do solo e da densidade de forrageiras. Por recuperação de pastagens entende-se por um conjunto de práticas que visa restaurar a produtividade de uma pastagem degradada sem a necessidade de replantio, focando na correção do solo, adubação e manejo adequado do pastejo. Renovação (restauração) de pastagens é o processo de renovação completo de uma pastagem severamente degradada, que envolve preparo do solo, replantio da forrageira e correção de acidez e reposição de nutrientes em profundidade.

Para a tomada de decisão, deve-se realizar uma análise da fertilidade de solo combinada com a avaliação do estande de plantas por metro quadrado. A partir dessas informações, podem ser consideradas quatro alternativas, ilustradas Figura 6.



Figura 6 - Matriz de decisão de recuperação ou renovação da pastagem de acordo com a fertilidade do solo e o estande de plantas forrageiras.

Fonte: Elaboração própria.

- **Recuperação:** quando a análise indica baixo teor de nutrientes, associado a uma redução de 10 a 40% no estande de forrageiras devido à presença de plantas daninhas ou solo descoberto.
- **Renovação:** quando há uma redução superior a 40% no estande de forrageiras e o solo está com teores de nutrientes muito baixos e acidez elevada.
- **Ajuste de manejo:** quando a análise indica que o solo possui boa fertilidade, mas o estande de forrageiras está abaixo do ideal, ajustes no manejo, como mudanças na taxa de lotação e controle de pastejo, podem ser suficientes para recuperar a pastagem sem a necessidade de intervenções mais intensivas.
- **Manutenção do manejo atual:** se tanto o solo quanto o estande de forrageiras estão em condições adequadas, o manejo atual pode ser mantido.



Um produtor possui uma pastagem de capim Mombaça (*Panicum maximum* cv. Mombaça) porém não possui um histórico de análises de solo da área. Ele realizou uma análise visual da cobertura do solo e constatou que 25% da área possui solo descoberto ou planta daninha. Ele resolveu então realizar uma análise de solo e os resultados foram: $P = 19 \text{ mg/dm}^3$, $K = 2,0 \text{ mmolc/dm}^3$, $V\%=40$ e $CTC = 76 \text{ mmolc/dm}^3$.

Como o produtor não possui um histórico de análises de solo da área, não é possível determinar se houve uma perda gradual de fertilidade ao longo do tempo. No entanto, a análise de solo atual revela níveis de fertilidade entre baixos e médios. Além disso, a avaliação visual da cobertura do solo indicou sinais de degradação da pastagem, embora em um estágio não muito avançado. Diante desse cenário, a recomendação é pela recuperação da área. Os cálculos de calagem e adubação seguem o mesmo procedimento do exemplo da seção 6.

Um produtor possui uma pastagem de braquiária (*Brachiaria decumbens*). Ele realizou uma análise visual da cobertura do solo e constatou que 50% da área possui solo descoberto ou planta daninha. Ele possui uma análise de solo de 5 anos atrás, e os resultados são: pH $\text{CaCl}_2 = 4,8$, $\text{P} = 12 \text{ mg/dm}^3$, $\text{K} = 1,5 \text{ mmolc/dm}^3$, $\text{V}\% = 38$ e $\text{CTC} = 63 \text{ mmolc/dm}^3$. No entanto, ele não realizou nenhuma correção e adubação durante esses 5 anos, e realizou outra análise de solo após a análise visual. Os resultados dessa vez foram: pH $\text{CaCl}_2 = 4,4$, $\text{P} = 5 \text{ mg/dm}^3$, $\text{K} = 0,6 \text{ mmolc/dm}^3$, $\text{V}\% = 23$ e $\text{CTC} = 51 \text{ mmolc/dm}^3$.

A análise de solo realizada há 5 anos já indicava uma baixa fertilidade. A nova análise revela uma piora significativa, com o solo apresentando fertilidade extremamente baixa e alta acidez. Essa situação é confirmada pela avaliação visual, que constatou uma redução de 50% na cobertura da forrageira, com uma alta infestação de plantas daninhas e solo exposto. Dada a gravidade do quadro, a recuperação da pastagem não será suficiente, sendo necessária uma renovação (reforma) da área.

6.6.3 Etapas para a renovação de uma pastagem

A renovação de pastagens é necessária para restaurar a produtividade em áreas com alto nível de degradação. Seguir um procedimento estruturado garante que a nova pastagem se estabeleça de forma saudável e sustentável. A Figura 7 mostra um passo a passo das etapas na renovação da pastagem.

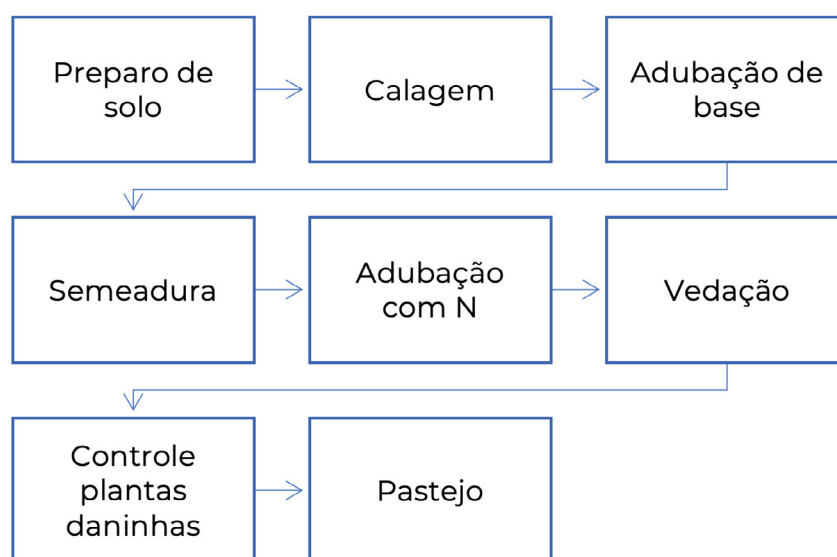


Figura 7 - Passo a passo para a renovação da pastagem.
Fonte: Elaboração própria.

- 1. Preparo de solo:** a renovação da pastagem exige o preparo de solo, que serve para eliminar camadas superficiais compactas, eliminar as plantas daninhas e incorporar o calcário. O preparo de solo geralmente é realizado por meio de gradagens.
- 2. Calagem:** a calagem pode ser dividida em duas vezes, umas antes e uma após o preparo de solo, a fim de garantir boa incorporação do calcário. A renovação da pastagem é uma boa oportunidade para corrigir o solo em profundidade, uma vez que com a pastagem estabelecida não é possível incorporar o calcário.

3. **Adubação de base:** após a calagem, aplica-se o P e K de acordo com análise de solo.
4. **Semeadura:** realize a semeadura de acordo com a recomendação da espécie escolhida. Pode ser feita a lanço ou em linha, dependendo da espécie e da disponibilidade de equipamentos. Selecione uma forrageira adequada para a região e o tipo de solo. A escolha pode ser uma nova espécie ou cultivar, ou replantio da mesma forrageira que estava anteriormente na área.
5. **Adubação com N:** realize a adubação N de acordo com a recomendação.
6. **Período de vedação:** após a semeadura, deixe a área em repouso (sem pastejo) por um período de 30 a 90 dias, dependendo da forrageira escolhida e das condições climáticas. Esse período é essencial para o estabelecimento da nova pastagem.
7. **Aplicação de herbicidas (se necessário):** após a germinação, monitore a presença de novas plantas daninhas. Em alguns casos, uma aplicação de herbicida em baixa dose pode ser necessária para controlar essas plantas antes que causem danos à pastagem.
8. **Retorno do pastejo:** o pastejo deve ser retomado somente quando a forrageira atingir a altura ideal para o pastejo inicial, que varia conforme a espécie.

No próximo ano, nova análise de solo deverá ser realizada e a calagem e adubação deverão ser realizadas novamente de acordo com os teores da análise de solo.

6.7 Adubação em áreas de recomposição florestal

Embora as espécies nativas utilizadas na recomposição florestal geralmente apresentem baixa exigência de nutrientes, a adubação pode trazer benefícios significativos, como maior vigor inicial e melhor estabelecimento das plantas, contribuindo para o fechamento mais rápido das copas.

A demanda por nutrientes varia entre os biomas, devido às diferenças em suas condições edáficas e ecológicas. Embora as informações sobre a recomendação de adubação em áreas de recomposição sejam mais escassas, em alguns boletins de recomendação são disponibilizadas seções específicas que auxiliam no manejo da adubação para áreas de recomposição florestal, considerando as peculiaridades de cada região e as necessidades das espécies nativas.



Para facilitar o entendimento, vamos considerar um exemplo hipotético: um produtor rural no município de Piracicaba/SP pretende realizar a recomposição de uma área de Reserva Legal. Após realizar a análise do solo, os resultados obtidos foram os seguintes: $V\% = 47\%$; $MO = 20 \text{ g/dm}^3$; $P = 7 \text{ mg/dm}^3$; $K = 1,8 \text{ mmolc/dm}^3$. Vamos supor que ele tem disponível os seguintes fertilizantes na sua propriedade: ureia (45% N), pó de rocha como fonte de fósforo (18% P_2O_5) e cloreto de potássio (61% K_2O).

De acordo com o Boletim 100, solos com $V\%$ maior que 40 não precisam de calagem. Portanto, para esse solo, não há necessidade. Em relação à adubação, a recomendação segue o indicado na Figura 8.

Adubação mineral: Aplicar de acordo com análise de solo e a seguinte tabela:

M.O., g/dm ³			P resina, mg/dm ³			K+ trocável, mmol _c /dm ³		
0-15	16-40	>40	0-5	6-12	>12	0-0,7	0,8-1,5	>1,5
N, kg/ha			P ₂ O ₅ , kg/ha			K ₂ O, kg/ha		
60	40	20	80	50	0	60	30	0

Aplicar 1 kg/ha de B em solos com teores de B < 0,21 mg/dm³ e 1 kg/ha de Zn em solos com teores de Zn < 0,6 mg/dm³.

Adubação de plantio: Aplicar todo o fósforo, o zinco e o boro e, de preferência, 50% do nitrogênio e do potássio por ocasião do plantio, nos sulcos ou covas de plantio.

Adubação de cobertura: O restante de N e K₂O deve ser aplicado entre 3 a 6 meses após o plantio, na forma de filetes contínuos, ao redor da projeção das copas ou no meio do espaçamento entre as linhas de plantio. As aplicações de adubos em cobertura não devem coincidir com os períodos de intensas chuvas, tampouco quando os níveis de umidade do solo estiverem muito baixos.

Figura 8 - Recomendação de adubação para plantios de recomposição florestal na Mata Atlântica.
Fonte: adaptado de Rajj et al. (1997).

De acordo com a análise de solo e o Boletim 100, ele vai precisar da seguinte quantidade de nutrientes: N – 40 kg/ha; P₂O₅ – 50 kg/ha; K₂O – não precisa. Os cálculos da quantidade dos fertilizantes estão detalhados abaixo:

$$\begin{array}{ll}
 100 \text{ kg de ureia} \rightarrow 45 \text{ kg de N} & 100 \text{ kg pó de rocha} \rightarrow 18 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \\
 X \rightarrow 40 \text{ kg de N} & X \rightarrow 50 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \\
 45X = 4000 & 18X = 5000 \\
 X = 89 \text{ kg/ha de ureia} & X = 277 \text{ kg/ha de pó de rocha}
 \end{array}$$

De acordo com a recomendação, o produtor deverá aplicar todo o pó de rocha (277 kg/ha) no ato do plantio na cova ou sulco de plantio. A ureia deverá ser aplicada 44,5 kg/ha no ato do plantio na cova ou sulco e 44,5 kg/ha de 3 a 6 meses em filetes contínuos na projeção da copa, quando o solo tiver umidade adequada.

Quando as adubações são realizadas com rigor técnico, espera-se um aumento na fertilidade do solo e uma resposta positiva no crescimento das plantas. No entanto, diversos fatores podem influenciar esse resultado, impedindo que os nutrientes aplicados sejam aproveitados de forma eficiente. Por isso, é fundamental monitorar o estado nutricional das plantas, garantindo que a adubação tenha alcançado seu objetivo. No próximo capítulo, abordaremos os métodos para avaliar o estado nutricional das plantas e identificar possíveis deficiências de nutrientes.

7 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE PLANTAS

O estado nutricional de uma planta é determinado pela quantidade de nutrientes que foram absorvidos, os quais influenciam diretamente o seu crescimento e desenvolvimento. Portanto, o estado nutricional das plantas é resultado direto da fertilidade do solo.

A avaliação do estado nutricional das plantas é, portanto, uma ferramenta essencial para o Produtor de Água. Esta prática permite identificar e corrigir problemas nutricionais antes que afetem significativamente o desenvolvimento e a produtividade das culturas. Além disso, o manejo nutricional adequado contribui para reduzir perdas de nutrientes por lixiviação e erosão, promovendo a conservação dos recursos hídricos.

Neste capítulo serão apresentados dois métodos de avaliação nutricional de plantas. Além disso, serão discutidas práticas de manejo para corrigir desequilíbrios nutricionais e exemplos de adubação foliar para corrigir deficiências nutricionais.

7.1 Métodos de avaliação do estado nutricional

A avaliação do estado nutricional das plantas pode ser realizada por diferentes métodos, selecionados conforme a cultura, os recursos disponíveis e os objetivos do produtor. Aqui vamos abordar a diagnose visual, uma opção rápida e sem custos, embora apresente menor precisão. Também vamos abordar a análise foliar, uma alternativa mais criteriosa e que envolve custos, porém oferece resultados mais precisos e detalhados sobre o estado nutricional.

7.1.1. Diagnose visual

A diagnose visual é uma técnica de campo que se baseia na observação direta dos sintomas manifestados pelas plantas. Deficiências e excessos de nutrientes podem causar alterações características na coloração, forma e desenvolvimento das folhas, caules e frutos. Embora seja uma técnica rápida e de baixo custo, a diagnose visual requer experiência e conhecimento especializado, além de estar sujeita a erros devido à semelhança entre sintomas de diferentes nutrientes ou de outras condições, como doenças e estresse hídrico.

Outro ponto negativo é que, quando os sintomas visuais de deficiência aparecem, a planta já sofreu impactos. Embora a adubação possa corrigir parcialmente o problema, os danos causados pela deficiência nutricional não podem ser totalmente revertidos. No entanto, a diagnose visual pode ser útil no dia a dia para identificar padrões de deficiência na propriedade e melhorar o manejo de fertilização.

A mobilidade dos nutrientes nas plantas determina onde surgem os sintomas de deficiência. Nutrientes móveis, como o nitrogênio, se deslocam para as folhas mais novas em caso de escassez, causando sintomas nas folhas mais velhas. Já nutrientes pouco móveis, como o cálcio, permanecem fixos, fazendo os sintomas aparecerem primeiro nas folhas jovens. A Tabela 14 apresenta os nutrientes conforme sua mobilidade e localização dos sintomas.

Tabela 14 - Mobilidade dos nutrientes na planta e local onde aparecem os sintomas de deficiência²⁸.

Nutrientes	Mobilidade na planta	Sintomas 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



Os sintomas de deficiência de nutrientes em plantas geralmente se manifestam de forma distinta em comparação com sintomas causados por doenças ou outros estresses abióticos. Os sintomas de deficiência nutricional geralmente são generalizados no talhão, enquanto sintomas de pragas e doenças aparecem em reboleiras. Além disso, os sintomas de deficiência são simétricos na plantas, e sintomas de pragas e doenças podem ser assimétricos, aparecendo em apenas algumas partes da planta.

A Figura 9 mostra uma chave de classificação para identificação dos principais sintomas de deficiência de nutrientes nas plantas. É importante destacar que esses são os sintomas mais comuns, mas podem variar dependendo da espécie. Cada planta pode manifestar sintomas de maneira diferente, e fatores como o ambiente e o estágio de desenvolvimento podem influenciar essas variações. Para informações detalhadas sobre deficiências específicas em diferentes culturas, recomenda-se consultar as publicações da Embrapa, que possui um vasto acervo de recursos especializados nesse tema. Alguns exemplos são tomate, citros, maracujá, sorgo, braquiária e algodão.

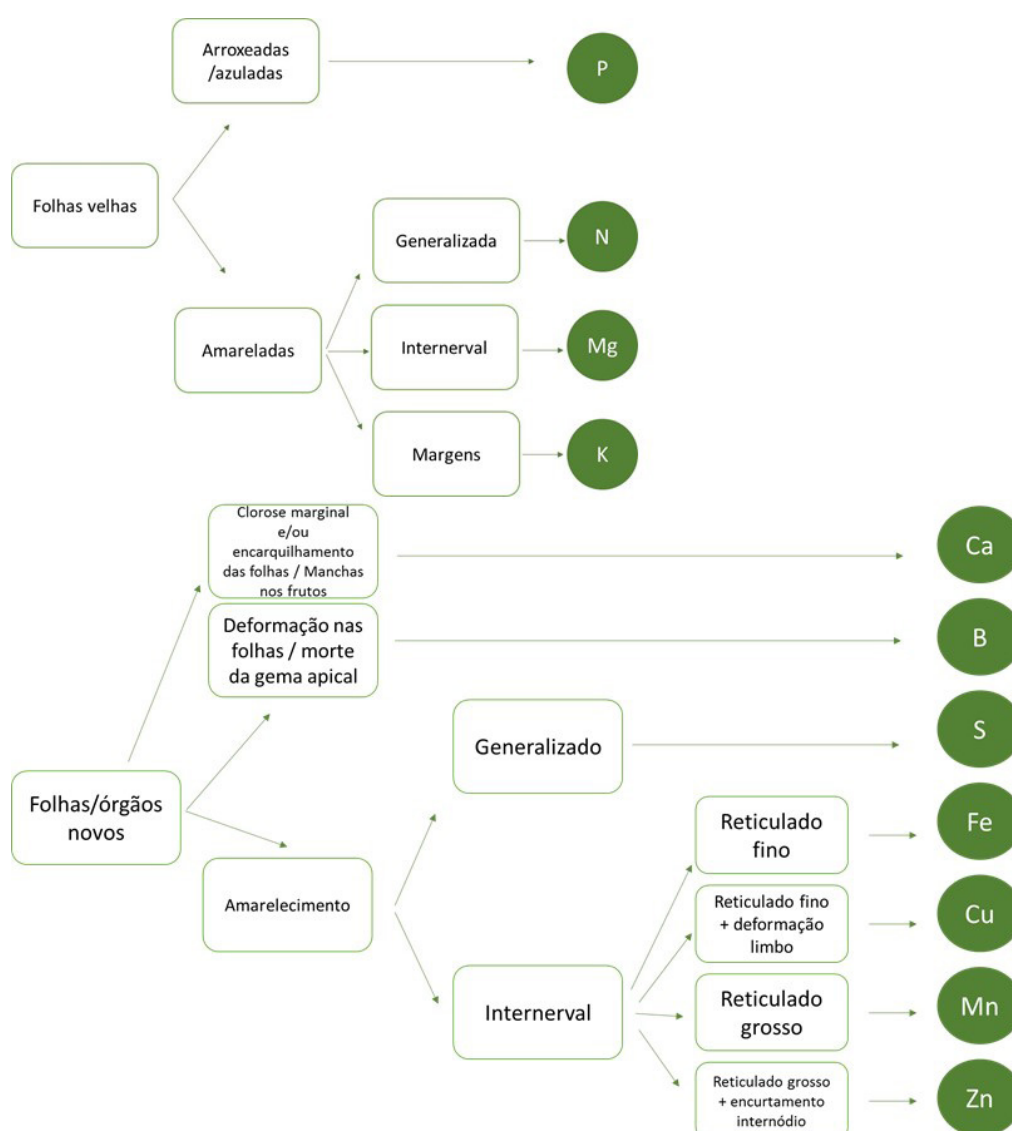


Figura 9 - Chave de classificação para determinação do nutriente limitante em função dos sintomas de deficiência. Fontes: baseado em Borin et al. (2013) e Malavolta; Vitti; Oliveira (1997).

7.1.2. Análise foliar

A análise foliar é uma das técnicas mais precisas para determinar o estado nutricional das plantas. Consiste na coleta de amostras de folhas, que são enviadas a um laboratório para análise química dos teores de macro e micronutrientes. Ao contrário da análise de solo, que mede a disponibilidade de nutrientes, a análise foliar reflete diretamente o que a planta está absorvendo e utilizando, fornecendo informações mais precisas sobre o estado nutricional.

Este método permite identificar deficiências antes que os sintomas visuais se manifestem, possibilitando intervenções precoces. A interpretação dos resultados baseia-se em padrões de referência estabelecidos para cada espécie.

Para realizar a coleta de folhas, é fundamental selecionar folhas que estejam no estágio de desenvolvimento correto, geralmente as completamente desenvolvidas, mas ainda jovens, localizadas no terço médio da planta. A coleta deve ser feita em dias secos, evitando a presença de orvalho ou chuva, que podem alterar os resultados. Amostras de diferentes áreas de cultivo devem ser coletadas separadamente, especialmente se houver variações notáveis no solo, topografia ou manejo. As folhas coletadas devem ser armazenadas em sacos de papel limpos e enviadas ao laboratório o mais rápido possível para evitar alterações nas concentrações dos nutrientes.

Para detalhes da época, tipo de folha e número de plantas amostradas consulte esse [link²⁹](#). Se a cultura que você está manejando não estiver nessa lista, consulte o manual de adubação utilizado na sua região (ver Tabela 4).

A interpretação dos resultados da análise foliar é feita com base em intervalos críticos de nutrientes, que são faixas de concentração dentro das quais a planta apresenta crescimento e desenvolvimento ótimos. A interpretação é similar aos teores de nutrientes no solo, só que nesse contexto, em vez de avaliar a disponibilidade dos nutrientes no solo, avaliamos o que efetivamente a planta absorveu.

Esses intervalos variam para cada espécie vegetal e estágio de desenvolvimento, e estão disponíveis em tabelas de referência específicas. Valores abaixo do intervalo crítico indicam deficiência, enquanto valores acima podem sugerir toxicidade ou excesso. A interpretação correta exige considerar as condições específicas de cultivo, pois fatores como estresse hídrico ou doenças podem influenciar a absorção de nutrientes e, consequentemente, os resultados da análise foliar.

Para a interpretação das faixas adequadas de macro e micronutrientes, consulte esse [link³⁰](#). Se a cultura que você está manejando não estiver nessa lista, consulte o manual de adubação utilizado na sua região (ver Tabela 4).



Um dos principais erros é a contaminação da amostra, que pode ocorrer se as folhas entrarem em contato com o solo, fertilizantes, defensivos ou mesmo resíduos das mãos do coletor. Esse contato pode alterar a composição da amostra e resultar em análises que não refletem a condição real da planta.

Outro erro frequente é realizar a coleta em períodos inadequados do ciclo da planta. O teor de nutrientes varia conforme a fase de desenvolvimento da planta, de modo que coletas feitas fora dos momentos ideais podem apresentar resultados distorcidos. O recomendado é seguir as orientações específicas para cada cultura, coletando amostras na fase de crescimento indicada para a análise, o que assegura dados representativos do estado nutricional.

29 <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/967420/1/CIRTEC134.pdf>

30 <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1127239/1/LV-RecomendacaoSolo-2020-67-74.pdf>

7.2 Recomendações de manejo

Caso os resultados indiquem teores de nutrientes fora da normalidade, deve-se pensar em ações de longo e curto prazo. As de longo prazo seriam revisar a estratégia de adubação. Para nutrientes deficientes, aumente as doses na próxima adubação. Em caso de excesso, reduza ou elimine temporariamente a aplicação daquele nutriente. Analise também fatores que podem estar limitando a absorção de nutrientes, como pH do solo inadequado ou compactação.

Para deficiências severas detectadas durante o ciclo da cultura, considere aplicações foliares para correção rápida. A absorção via foliar é mais rápida que via solo, permitindo uma correção quase imediata. A adubação foliar é particularmente eficiente para nutrientes que são necessários em menores quantidades e que possuem menor mobilidade no solo ou na planta. Entre esses, destacam-se os micronutrientes, como zinco, ferro, manganês e boro. A aplicação foliar desses nutrientes permite que sejam rapidamente absorvidos pelas folhas, corrigindo deficiências de maneira eficaz e pontual.

Embora seja um macronutriente, a aplicação foliar de nitrogênio pode ser útil em algumas situações, como no início do crescimento ou para ajudar a planta a recuperar uma deficiência temporária. No entanto, essa aplicação geralmente complementa a adubação do solo, pois a demanda total de nitrogênio da planta é alta.

Em condições de alta demanda, como em períodos de floração e frutificação, a aplicação foliar de potássio ajuda a melhorar a qualidade dos frutos e a resistência das plantas. Embora o potássio seja normalmente aplicado no solo, a adubação foliar pode ser um bom complemento em culturas como tomate, uva e batata.

Cálcio é menos frequentemente aplicado por via foliar devido à baixa mobilidade foliar. No entanto, em culturas sensíveis como tomate, a aplicação foliar de cálcio pode ajudar a prevenir distúrbios fisiológicos, como a podridão apical, que está ligada à deficiência de cálcio.

Em culturas perenes ou em casos de deficiência persistente, aplicações foliares podem ser repetidas a cada duas a quatro semanas. Essa frequência permite uma absorção gradual e constante dos nutrientes sem sobrecarregar a planta.

7.3 Recomendações de adubação foliar

A aplicação foliar geralmente utiliza concentrações menores do que a adubação de solo, uma vez que a absorção pela folha é mais direta e rápida. A concentração ideal varia conforme o nutriente e a cultura, mas geralmente fica entre 0,5% e 2% para macronutrientes e 0,1% a 0,5% para micronutrientes. Culturas sensíveis, como frutas e hortaliças, podem necessitar de concentrações mais baixas para evitar danos foliares. Já culturas mais robustas, como algumas leguminosas, podem tolerar concentrações ligeiramente maiores. Normalmente, utiliza-se de 200 a 300 litros de calda por hectare para culturas anuais e até 1000 litros por hectare para culturas perenes.

Superdosagens podem causar queimaduras nas folhas, especialmente em condições de alta temperatura ou baixa umidade. Para garantir segurança, recomenda-se realizar um teste preliminar, aplicando a solução em algumas plantas e aguardando 48 horas antes de proceder com a aplicação em toda a área. Essa precaução permite observar possíveis danos causados, como aqueles resultantes de uma concentração mais elevada do que a que as plantas podem tolerar durante a adubação. É recomendável realizar a aplicação foliar nas primeiras horas da manhã ou ao final da tarde, quando a absorção é mais lenta e o risco de evaporação é menor.

É essencial consultar a literatura especializada para definir a dose adequada, levando em conta tanto as especificidades da técnica quanto as características da cultura em questão. Embora não existam manuais dedicados exclusivamente à adubação foliar, os boletins técnicos de adubação oferecem recomendações específicas para cada cultura, quando essa prática é relevante.

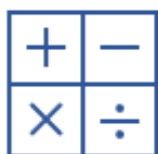


Vejamos um exemplo de recomendação de adubação foliar para corrigir deficiência de micronutrientes para a cultura da cebola, retirado do Manual de calagem e adubação para os estados do RS e SC (SBCS, 2016).

Para suprir eventuais deficiências na fase de desenvolvimento da lavoura para Zn, B e Mn, pode-se aplicar via foliar, sulfato de zinco a 0,5% e/ou ácido bórico (ou bórax) a 0,25% e/ou sulfato de manganês a 1%, fazendo-se de duas a quatro aplicações em intervalos de uma a duas semanas.

Primeiro, é importante observar que a adubação foliar de micronutrientes deve ser realizada apenas quando houver confirmação de deficiência. O manual fornece as faixas adequadas de teores foliares para cada nutriente. Por exemplo, para zinco (Zn), a faixa ideal está entre 10 e 50 mg/kg. Assim, se o teor foliar de sua cultura estiver abaixo de 10 mg/kg, é recomendada a aplicação de sulfato de zinco.

Além disso, a recomendação específica apenas a concentração do fertilizante na solução (diluição em água), sem indicar o volume total de calda a ser aplicado. Em adubações foliares, a aplicação deve ser feita até o ponto de escorrimento, ou seja, até que as folhas estejam bem molhadas, mas sem que a solução comece a escorrer excessivamente. Isso geralmente determina o volume de calda necessário. Para culturas de porte baixo e estrutura foliar como a cebola, volumes entre 200 e 500 litros por hectare são comumente utilizados.



Agora vejamos um exemplo de recomendação de adubação foliar para corrigir deficiência de micronutrientes em feijão no Cerrado, retirado do manual de Correção do solo e adubação do Cerrado (SOUSA; LOBATO, 2002).

Adubação foliar com boro, cobre, manganês e zinco: caso apareçam sintomas de deficiência de qualquer um desses nutrientes, pulverizar, conforme o caso, com uma das seguintes soluções: boro – solução 0,5% de bórax ou 0,3% de ácido bórico; cobre – solução 0,5% de sulfato de cobre; manganês – solução 0,5% de sulfato de manganês; zinco – solução 0,5% de sulfato de zinco. A dose a ser usada de cada solução é de 400 L/ha. Adicionar, à exceção da solução com bórax, 1,0 g/L de hidróxido de cálcio (cal extinta ou cal hidratada).

Neste caso, a recomendação é baseada na observação de sintomas visuais de deficiência. Alternativamente, se o produtor não possuir experiência na diagnose visual, pode-se realizar uma análise foliar e, caso os resultados estejam abaixo da faixa ideal, a aplicação do nutriente é indicada. Diferente do exemplo anterior, aqui a recomendação inclui não apenas a concentração do fertilizante, mas também o volume total de solução a ser aplicado, que é de 400 L/ha.

8 ADUBAÇÃO VERDE

A adubação verde é uma prática agrícola que utiliza plantas cultivadas, conhecidas como adubos verdes ou plantas de cobertura, para melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

Essas plantas protegem o solo contra a erosão, mantendo-o coberto durante os períodos em que não há cultivo de espécies comerciais. Suas raízes aumentam a porosidade do solo, facilitando a infiltração de água e reduzindo o escoamento superficial, enquanto a biomassa gerada, ao ser depositada ou incorporada, contribui para o aumento da matéria orgânica e melhora a estrutura do solo. Além disso, a adubação verde é eficiente no fornecimento de nutrientes, especialmente com o uso de leguminosas, que disponibilizam nitrogênio para as culturas subsequentes.

Diante de seus inúmeros benefícios, a adubação verde é uma estratégia de manejo essencial no Programa Produtor de Água, pois contribui para a conservação dos recursos hídricos ao reduzir a erosão do solo e o assoreamento das bacias hidrográficas atendidas.

Este capítulo aborda como os adubos verdes podem ser incorporados aos sistemas de cultivo e orientações práticas de como manejar os adubos verdes na propriedade.

8.1 Sistema de cultivo

Os adubos verdes oferecem versatilidade em seu cultivo, podendo ser integrados aos sistemas agrícolas de diversas formas, tanto temporal quanto espacialmente. Eles podem ser utilizados em conjunto com culturas anuais, perenes, hortaliças, frutíferas, em cafezais, sistema de integração lavoura-pecuária e até na restauração florestal. A adubação verde é aplicável tanto na agricultura orgânica quanto na convencional, podendo ser usada em consórcio, rotação ou em faixas. Enfim, há uma infinidade de possibilidades de uso dos adubos verdes, e sua implementação certamente trará benefícios ao solo.

A implementação bem-sucedida da adubação verde requer, portanto, uma abordagem adaptativa que leve em conta o contexto local e as necessidades específicas de cada produtor e sistema de produção. A Tabela 15 apresenta um resumo dos principais sistemas de cultivo em que os adubos verdes podem ser implementados. A Foto 9 mostra um exemplo de aplicação de adubos verdes, onde o feijão guandu foi utilizado para aumentar a fertilidade do solo em área onde será implantada sistema agroflorestal. Essa prática também pode ser realizada em plantios de recomposição florestal (recomposição de reserva legal, por exemplo). A Foto 10 mostra um exemplo onde o milho foi plantado como adubo verde em rotação com soja em áreas de Cerrado.



Foto 9 - Feijão-guandu utilizado como adubo verde em área de pousio temporário para recuperação de solo para posterior implantação de sistema agroflorestal, em Piedade (SP), 2019
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

Tabela 15 - Principais sistemas de cultivo de adubos verdes, seus benefícios para o sistema e alguns exemplos³¹.

Sistema de cultivo	Descrição	Benefícios	Exemplos
Adubação verde em rotação com culturas anuais/hortaliças	Prática de alternar o cultivo de adubos verdes e culturas comerciais	Reduz a erosão Quebra ciclos de pragas e doenças Fornece nutrientes	Rotação soja-milho-crotalária no Cerrado Sequência trigo-soja-aveia preta no Sul Adubo verde 1-alface-cenoura-brócolis-adubo verde 2
Adubação verde em consorciação com culturas anuais	Prática que visa o uso simultâneo de culturas comerciais e adubos verdes na mesma área	Fornece N para a cultura principal Melhora a cobertura do solo	Milho consorciado com feijão-de-porco Algodão com leguminosas de porte baixo
Adubação verde intercalar a culturas perenes	Plantio de adubos verdes nas entre linhas de culturas perenes	Melhora condições do solo no pomar/cafazal Controla plantas daninhas Aumenta infiltração de água	Leguminosas nas entrelinhas de citros Gramíneas de baixo porte em cafezais
Adubação verde em áreas de pousio temporário	Uso de adubos verdes em áreas de regeneração ou descanso do solo para promover a recuperação da fertilidade e estrutura	Recupera solos degradados Controla erosão em áreas ociosas Suprime plantas invasoras	Crotalárias em áreas de reforma de canavial Mucuna em pousio de entressafra Feijão guandu em área de sistema agroflorestal
Adubação verde em faixas	Plantio de adubos verdes em faixas intercaladas com culturas comerciais, especialmente em terrenos declivosos	Protege o solo contra erosão em áreas declivosas Fornece biomassa para cobertura Cria barreiras para pragas e doenças	Faixas de guandu intercaladas com milho Leucena em faixas em sistemas agroflorestais

31 Fonte: Adaptado de Lima Filho et al. (2023).



Foto 10 - Milheto utilizado como adubo verde em rotação com culturas anuais no Cerrado, na bacia hidrográfica do rio Pípiripau (DF), 2024
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

8.2 Manejo da biomassa

O manejo da biomassa gerada pelos adubos verdes é uma etapa crítica para assegurar que os benefícios dessas plantas sejam plenamente aproveitados no sistema produtivo. As principais formas de manejo incluem o acamamento, a fragmentação e incorporação, e a fragmentação e dispersão na superfície. Os detalhes sobre os equipamentos necessários, bem como as vantagens e desvantagens de cada método, estão apresentados na Tabela 16 e oferecem suporte ao produtor na escolha do método mais adequado para suas condições específicas.

Tabela 16 - Métodos de manejo da biomassa de adubos verdes: características, equipamentos, vantagens e desvantagens³².

Método	Equipamentos	Vantagens	Desvantagens
Acamamento	Rolo-faca, roçadeira, trator	Forma cobertura morta duradoura Protege o solo contra erosão Conserva umidade do solo	Decomposição mais lenta Liberação mais lenta de nutrientes
Fragmentação e incorporação	Roçadeiras, trituradores, grades	Acelera decomposição da matéria orgânica Liberação mais rápida de nutrientes Benéfico para solos de baixa fertilidade	Pode aumentar erosão do solo Maior perda de umidade Estimula germinação de plantas daninhas
Fragmentação e dispersão em superfície	Roçadeiras, trituradores	Mantém cobertura do solo Reduz erosão Conserva umidade Decomposição intermediária	Pode dificultar operações de plantio se houver excesso de palha

Os benefícios da adubação verde são ampliados quando combinados com a rotação de culturas, fortalecendo a sustentabilidade do sistema produtivo e aumentando sua resiliência à erosão e ao esgotamento do solo. O próximo capítulo abordará esse tema em detalhes.

9 ROTAÇÃO DE CULTURAS

Rotação de culturas é uma prática agrícola que envolve o plantio alternado de diferentes espécies vegetais em uma mesma área ao longo de sucessivas safras. A rotação permite que o solo recupere sua fertilidade, ao mesmo tempo que reduz a pressão de pragas e doenças associadas ao cultivo contínuo de uma única espécie.

As plantas selecionadas para rotação geralmente possuem características complementares, como sistemas radiculares distintos, que ajudam a explorar diferentes camadas do solo, melhorando a estrutura e a retenção de água. Devido a essas inúmeras vantagens, a rotação desempenha um papel essencial na mitigação da erosão do solo, tornando-se uma prática fundamental no contexto do Programa Produtor de Água.

Este capítulo começa abordando os critérios para a escolha de culturas na rotação, fornecendo indicadores práticos para facilitar a tomada de decisão. Em seguida, apresenta diferentes esquemas de rotação de culturas, destacando as várias opções disponíveis. O próximo tópico detalha o planejamento da implementação da rotação na propriedade, oferecendo orientações práticas para a preparação e execução.

9.1 Critérios para escolha das culturas na rotação

A escolha das culturas para a rotação deve seguir critérios práticos que garantam a funcionalidade do sistema e maximizem o resultado para o solo. A Tabela 17 apresenta os principais critérios a serem considerados, explicando sua importância e fornecendo indicadores práticos que auxiliam na tomada de decisões para implementar uma rotação eficiente e adaptada às condições locais.

Tabela 17 - Critérios essenciais na escolha de culturas para rotação³³.

Critério	Descrição	Indicadores
Adaptabilidade ao clima e solo	Considerar a faixa de temperatura ideal, precipitação anual necessária e fertilidade do solo adequado para cada cultura. Consultar o zoneamento agroclimático da região.	Temperatura (°C) Precipitação (mm/ano) pH, CTC e SB ³⁴
Necessidades nutricionais	Combine culturas com diferentes exigências nutricionais para otimizar o uso dos nutrientes no solo.	Extração de N, P e K
Ciclo de crescimento	Combinar culturas de ciclo curto, médio e longo para otimizar o uso da terra ao longo do ano. Considerar o período de entressafra para culturas de cobertura.	Duração do ciclo (dias)
Complementaridade entre culturas	Alternar plantas com diferentes sistemas radiculares (superficiais e profundos) e famílias botânicas. Incluir leguminosas para fixação de nitrogênio.	Diversidade de famílias botânicas Profundidade das raízes
Resistência a pragas e doenças	Selecionar variedades com resistência comprovada às principais doenças e pragas locais. Verificar o histórico de problemas fitossanitários na região.	Nível de resistência Histórico fitossanitário
Viabilidade econômica	Priorize culturas com boa demanda de mercado ou que tenham papel importante no sistema produtivo.	Preço de mercado Integração com outras atividades (ex.: alimentação animal, produção de biomassa).
Infraestrutura e aspectos logísticos	Avaliar necessidade de maquinário específico e infraestrutura de armazenamento. Considerar a logística de transporte e comercialização.	Infraestrutura disponível Facilidade de escoamento
Práticas culturais e tradicionais	Consultar produtores locais experientes. Considerar culturas tradicionalmente bem-sucedidas na região e conhecimentos agrícolas locais.	Culturas locais bem-sucedidas

Para identificar quais culturas de cobertura são mais adequadas às condições da sua propriedade e podem ser incorporadas ao sistema de rotação, consulte a lista detalhada de espécies disponível no capítulo 03 do livro Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil (LIMA FILHO et al., 2023), acessível através deste [link³⁵](#).

9.2 Esquemas de rotação de culturas

A rotação de culturas é uma prática extremamente versátil, permitindo diversas combinações de espécies que podem ser adaptadas às condições locais, objetivos produtivos e necessidades de manejo do solo. Diferentes esquemas de rotação, desde ciclos curtos bianuais até sistemas mais longos e complexos, como os quinquenais ou integrados com pastagens, oferecem aos produtores uma grande flexibilidade. A escolha do esquema adequado vai depender das condições locais, bem

³³ Fonte: Adaptado de Lima Filho et al. (2023).

³⁴ Ver capítulo 4 para mais detalhes sobre avaliação da fertilidade de solo.

³⁵ <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1153241/adubacao-verde-e-plantas-de-cobertura-no-brasil-fundamentos-e-pratica-volume-1>

como dos interesses do agricultor. A Tabela 18 apresenta alguns esquemas de rotação de culturas, com exemplos de cada esquema.

Tabela 18 - Exemplos de esquemas de rotação de culturas para diferentes sistemas de produção³⁶.

Esquema de rotação	Descrição	Exemplo
Rotação Bienal	Alternância de duas culturas principais ao longo de dois anos.	Soja (ano 1) + Milho safrinha (ano 2), com cobertura de milheto entre os ciclos.
Rotação Trienal	Ciclo de três anos alternando culturas comerciais e culturas de cobertura.	Soja (ano 1) + Milho safrinha (ano 2) + Adubação verde com crotalária (ano 3).
Rotação Quadrianual	Ciclo de quatro anos, alternando culturas comerciais, cobertura e leguminosas.	Milho (ano 1) + Sorgo/milheto (ano 2) + Feijão + Crotalária (ano 3) + Milho + Braquiária (ano 4).
Rotação Quinquenal	Ciclo de cinco anos com culturas principais e adubação verde.	Milho (ano 1) + Soja (ano 2) + Arroz (ano 3) + Feijão (ano 4) + Guandu (ano 5).
Rotação de Hortaliças	Alternância rápida de culturas de ciclo curto, normalmente em áreas pequenas.	Alface (ciclo de 60 dias) + Cenoura (ciclo de 120 dias) + Couve-flor (ciclo de 90 dias) em um ciclo de um ano.
Rotação Integrada com Pastagens	Sistema contínuo alternando culturas agrícolas e pastagens para pecuária.	Soja seguida de milho, com pastagem de braquiária após a colheita para uso na pecuária (1-3 anos por ciclo).
Rotação com Adubação Verde	Alternância de culturas comerciais com culturas de cobertura ou adubação verde.	Milho (ano 1) + Crotalária (ano 2) + Soja (ano 3) com adubação verde no pós-colheita (crotalária ou mucuna).

A Foto 11 mostra um exemplo de rotação de culturas em hortaliças, onde o nabo forrageiro é plantado no inverno. Além de produzir biomassa que será incorporada ao solo para aumentar os teores de matéria orgânica, o nabo forrageiro ajuda na descompactação do solo e controle de nematoides.



Foto 11 - Nabo forrageiro utilizado como adubo verde em rotação com hortaliças, em Brasília (DF), 2024
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

36 Fonte: Adaptado de Lima Filho et al. (2023).

9.3 Planejamento dos ciclos de rotação

A elaboração de um plano de rotação de culturas segue uma série de etapas práticas que garantem o uso eficiente do solo e a maximização dos benefícios da rotação. A Figura 10 apresenta um passo a passo prático para ajudar no planejamento dos ciclos de rotação.

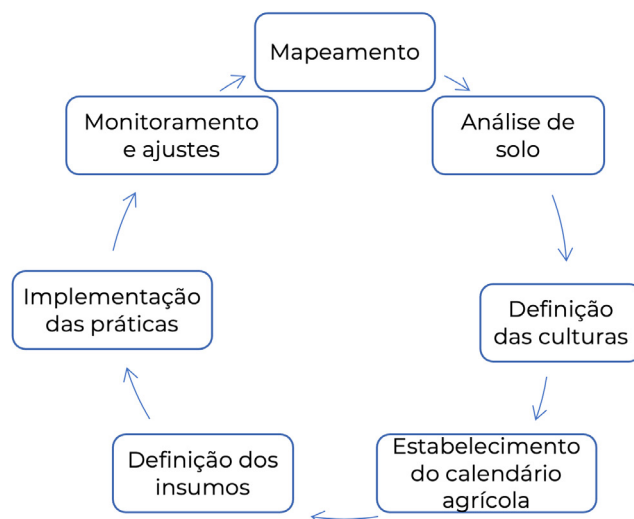


Figura 10 - Etapas do planejamento dos ciclos de rotação.
Fonte: Elaboração própria.

- 1. Mapeamento das áreas de cultivo:** o primeiro passo é identificar as áreas que serão usadas para a rotação de culturas. Divida a propriedade em talhões ou parcelas, levando em conta a topografia, tipo de solo e histórico de uso da terra. Esse mapeamento facilitará o planejamento de culturas de acordo com as características de cada área. Mais detalhes de como dividir a área no capítulo 3.
- 2. Análise do Solo:** colete o solo e realize análises de fertilidade. Isso ajudará na seleção das culturas mais adequadas. Mais detalhes de como interpretar uma análise de solo no capítulo 5.
- 3. Definição das culturas a serem utilizadas:** com base nas seções 10.1 e 10.2, defina as culturas que serão implantadas.
- 4. Estabelecimento do calendário agrícola:** organize o calendário de plantio e colheita de cada cultura de acordo com a estação do ano e as condições climáticas. Por exemplo, culturas de ciclo curto, como leguminosas, podem ser alternadas com culturas de ciclo longo, como milho ou sorgo, para garantir o uso contínuo da terra. Leve em consideração as épocas de maior risco de seca ou chuva excessiva, planejando as culturas mais tolerantes para esses períodos.
- 5. Determinação dos insumos necessários:** defina quais insumos serão utilizados em cada fase do ciclo, como adubos, corretivos de solo e irrigação. Baseie-se na análise de solo para garantir que as necessidades nutricionais de cada cultura sejam atendidas de forma adequada.
- 6. Implementação das práticas de manejo:** durante o ciclo, é fundamental prever as práticas de manejo que serão necessárias, como controle de pragas e doenças, manejo de plantas daninhas e práticas de conservação do solo. Por exemplo, o manejo adequado dos resíduos culturais (palhada) deve ser planejado para manter a cobertura do solo entre os ciclos.
- 7. Monitoramento e ajustes:** durante a implementação do plano, é essencial monitorar o desempenho das culturas e a saúde do solo. Registre datas de plantio, colheita, insumos aplicados e resultados obtidos. Esses dados permitem avaliar a eficiência da rotação e realizar

melhorias nos próximos ciclos. A flexibilidade é fundamental para ajustar o calendário ou substituir culturas diante de desafios como mudanças climáticas ou ataques de pragas.

A rotação de culturas é uma prática fundamental no contexto do Programa Produtor de Água, especialmente quando integrada ao uso de adubos verdes e sistemas de plantio direto. Essa combinação fortalece a proteção do solo, reduzindo significativamente os riscos de erosão e melhorando sua estrutura ao longo do tempo. No próximo capítulo, serão abordados os princípios e etapas para a implementação do plantio direto, destacando como essa técnica complementa a rotação de culturas para promover a conservação do solo e da água.

10 PLANTIO DIRETO

O plantio direto é um sistema de manejo do solo que elimina as etapas de aração e gradagem do preparo convencional. Nesse sistema, a semeadura ou o plantio é realizado sobre os restos da cultura anterior, que são mantidos na superfície do solo. Ao contrário do preparo convencional, que revolveria o solo, o plantio direto preserva a palhada, protegendo o solo contra o impacto direto da chuva, aumentando a infiltração de água e reduzindo o escoamento superficial. Essa cobertura contínua torna o plantio direto uma prática eficaz no controle da erosão.

A adoção do plantio direto, além de trazer benefícios diretos para a produção agrícola, é uma prática com grande potencial de abatimento de erosão, sendo, por isso, recomendada no âmbito do Programa Produtor de Água. Um exemplo prático dessa valorização ocorre no Projeto Pipiripau, no Cerrado, onde o plantio direto foi incorporado como uma prática edáfica elegível para os Pagamentos por Serviços Ambientais. A Foto 12 ilustra uma área de plantio direto no Cerrado após a colheita do milho, onde parte da palhada foi removida para evidenciar a espessura da camada de cobertura do solo formada pelos resíduos do milho.



Foto 12 - Cobertura do solo de alta qualidade, destacada pela espessura da palhada de milho que cobre a superfície, em área de plantio direto em uma propriedade do Projeto Pipiripau, em Brasília (DF), 2024
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

Assim como outras práticas edáficas, o plantio direto, isoladamente, não elimina totalmente o risco de erosão. Para maior eficácia, deve ser combinado com práticas mecânicas e vegetativas, como terraceamento e plantio em nível. Além disso, o uso de adubos verdes (plantas de cobertura) e a rotação de culturas são práticas complementares ao plantio direto, já detalhadas nos capítulos anteriores, que podem ser consultados para uma compreensão mais completa de sua integração. A Foto 13 exemplifica uma área de Cerrado onde o milheto foi utilizado como adubo verde e parte da rotação de culturas. Durante o verão, a área será cultivada com feijão, que será plantado diretamente sobre a palhada do milheto em sistema de plantio direto.



Foto 13 - Uso do milheto como adubo verde e parte da rotação de culturas em sistema de plantio direto em áreas de Cerrado, na bacia hidrográfica do Rio Piripau (DF), 2024
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

Neste capítulo, o foco estará em como essas práticas se ajustam especificamente ao plantio direto, destacando aspectos práticos que ainda não foram discutidos nos capítulos anteriores. Especificamente, vamos abordar como fazer a transição de um sistema convencional para o plantio direto. Por fim, vamos abordar particularidades de correção e adubação em sistemas de plantio direto.

10.1 Preparação para implantação do plantio direto

A implementação do plantio direto é um processo que exige a realização de várias etapas preparatórias. Suponha que uma propriedade esteja participando do projeto Produtor de Água e que, após o diagnóstico, foram identificadas áreas com erosão. Como parte do conjunto de ações para reduzir esse problema, decidiu-se converter essas áreas para o sistema de plantio direto. A Figura 11 apresenta um fluxograma das principais etapas a serem seguidas para a implantação de plantio direto em uma propriedade rural.

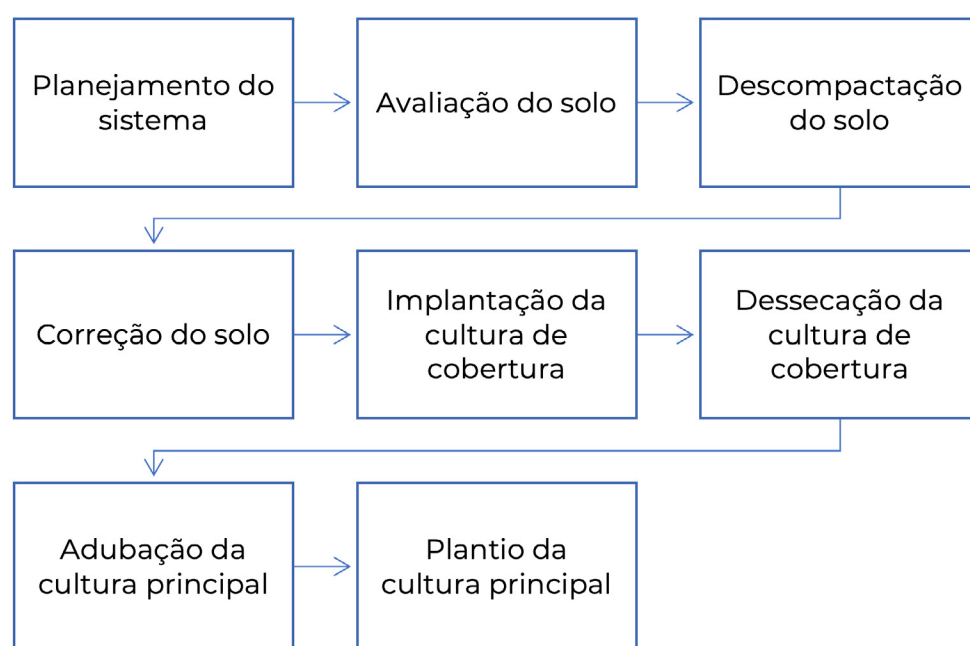


Figura 11 - Principais etapas para a implantação do plantio direto na propriedade.
Fonte: Elaboração própria.

1. **Planejamento do sistema:** nessa etapa deve-se definir as culturas principais e de cobertura, além de planejar a rotação de culturas. Fatores como clima, disponibilidade hídrica, época do ano e logística da propriedade devem ser considerados. A escolha das máquinas e o planejamento das operações também são aspectos importantes dessa fase. A escolha das culturas já foi detalhada na seção 9.1.
2. **Avaliação do solo:** deve-se realizar uma análise de fertilidade e de compactação do solo. A amostragem de solo para avaliação de fertilidade foi abordada no capítulo 4. Além da amostragem na camada superficial (0-20 cm), deve-se também coletar pelo menos da camada de 20-40 cm. Se possível, inclua amostragens mais profundas. Mais detalhes de como realizar a avaliação da compactação no Capítulo 12.
3. **Descompactação do solo:** como a descompactação mecânica do solo não será mais possível após a implantação do plantio direto, este é o momento ideal para eliminar camadas compactadas que possam impedir o crescimento das raízes. Se for constatada compactação excessiva, deve-se utilizar um subsolador ou escarificador em profundidade que elimine a camada compactada, o que às vezes pode ultrapassar 40 cm.
4. **Correção do solo:** com base nas análises de solo nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm (ou mais profundas), é fundamental aplicar e incorporar o calcário além da camada superficial, já que, após a implantação do plantio direto, não será possível realizar essa incorporação. Se necessário, aplique também gesso agrícola. Para mais detalhes sobre a recomendação de calcário e gesso, consulte as seções 5.2 e 5.5 do capítulo 5.
5. **Implantação da cultura de cobertura:** a cultura de cobertura é um componente essencial para o sucesso do plantio direto. A semeadura da cultura de cobertura deve ocorrer logo após a colheita da cultura principal ou durante a entressafra, para garantir cobertura contínua do solo. Para mais detalhes sobre culturas de cobertura veja o capítulo 8.
6. **Dessecação da cultura de cobertura:** essa fase prepara a área para o plantio da cultura principal. A dessecação deve ser realizada quando a cultura de cobertura alcançar o estágio de florescimento. Para isso, utiliza-se herbicidas sistêmicos. É importante aguardar o período de carência do herbicida antes do plantio da cultura principal. No caso de sistemas orgânicos, pode-se realizar a roçada ou o uso do rolo-faca em vez do uso de herbicida.
7. **Adubação da cultura principal:** no sistema de plantio direto, a adubação é feita sem a incorporação de fertilizantes ao solo. A análise do solo e as expectativas de produtividade da cultura devem guiar as decisões sobre os nutrientes necessários. Para detalhes sobre recomendação de adubação, consulte o capítulo 6.
8. **Plantio da cultura principal:** o plantio da cultura principal deve ser realizado diretamente sobre a palhada, utilizando semeadoras específicas para plantio direto, que conseguem abrir sulcos no solo sem removê-lo.

10.2 Manejo da palhada

Uma das práticas fundamentais no manejo da palhada no plantio direto é garantir sua distribuição uniforme sobre a superfície do solo. A palhada deve cobrir o solo de maneira homogênea, evitando áreas expostas que possam ser suscetíveis à erosão ou à perda de umidade. Essa distribuição pode ser feita com o auxílio de rolo-faca ou triturador de palhada, que quebram e espalham os resíduos das culturas de cobertura de maneira eficiente.

A quantidade de palhada adequada depende do tipo de solo, da cultura e das condições climáticas da região. Em geral, recomenda-se manter uma cobertura mínima de 4 a 6 toneladas por hectare, o que proporciona uma proteção eficiente contra erosão e evaporação excessiva. No entanto, em algumas culturas de cobertura, a quantidade de palhada pode ser menor, o que não representa um problema em áreas de baixa declividade e com chuvas menos intensas. O mais importante é garantir que a cobertura seja uniforme. A Foto 14 mostra um exemplo de palhada de trigo em áreas de Cerrado. Embora a quantidade de palhada seja menor que a recomendada, não há grandes riscos de erosão devido à topografia plana e à distribuição uniforme da cobertura. Além disso, a área permanecerá assim durante o inverno, quando as chuvas são menos frequentes e de menor intensidade.



Foto 14 - Palhada de trigo em área de plantio direto no Cerrado. Apesar da menor quantidade de palhada, a topografia plana e a cobertura uniforme minimizam os riscos de erosão, na bacia hidrográfica do rio Pipiripau (DF), 2024
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

Em casos de excesso de palhada, pode ser necessário um manejo mais intenso para viabilizar o plantio. Coberturas densas, embora benéficas, podem dificultar a operação das semeadoras, causando entupimentos e falhas na deposição das sementes. O uso de um triturador é recomendado para quebrar e reduzir a espessura da palhada, melhorando o contato das sementes com o solo e garantindo uma germinação uniforme. A Foto 15 mostra uma situação em áreas de plantio direto no Cerrado onde o produtor optou por realizar o manejo com o triturador devido à grande quantidade de palhada do milho safrinha, que será sucedido por soja no verão.

No momento do plantio, a palhada deve estar decomposta o suficiente para não impedir a passagem da semeadora, mas ainda em quantidade adequada para proteger o solo contra erosão e perda de umidade. Em geral, a dessecação das plantas de cobertura deve ocorrer de 2 a 3 semanas antes do plantio, mas isso varia conforme a espécie. Palhadas de leguminosas, com baixa relação C/N, decompõem-se rapidamente e exigem plantio em curto prazo após a dessecação para aproveitar a ciclagem de nutrientes. Já palhadas de gramíneas, com alta relação C/N, decompõem-se lentamente, oferecendo cobertura protetora por mais tempo, podendo exigir um intervalo maior antes do plantio.



Foto 15 - Área com grande quantidade de palhada: o produtor vai entrar com triturador de palhada antes do plantio de soja de verão, na bacia hidrográfica do rio Pipiripau (DF), 2024
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA.

11 CONTROLE DE QUEIMADAS

Historicamente, o uso do fogo fez parte do manejo do solo em comunidades rurais, sendo uma técnica tradicional herdada de práticas indígenas e amplamente adotada durante a expansão agrícola no país. No entanto, pesquisas evidenciam os efeitos prejudiciais do fogo sobre o solo, levando à substituição gradual dessa prática por métodos mais sustentáveis. Exemplos incluem a cana-de-açúcar, que deixou de usar o fogo para manejar resíduos, o manejo de florestas de eucalipto com alternativas de preparo do solo e a reforma de pastagens, que agora evita a queima.

Dentro do contexto do Programa Produtor de Água, o uso do fogo para manejo das áreas produtivas não é recomendado. Ao contrário, sugere-se que as propriedades participantes do Programa implantem medidas de prevenção e controle.

Dessa forma, este capítulo tem como principal objetivo orientar sobre a prevenção e o controle de queimadas. Abordaremos sobre o monitoramento do risco de incêndio, estratégias de prevenção e combate, bem como equipamentos necessários em uma propriedade.

11.1 Monitoramento do risco de incêndio

O monitoramento do risco de incêndio baseia-se em indicadores climáticos e ambientais que refletem a probabilidade de ignição e propagação do fogo. Existem diferentes metodologias para avaliar o risco, muitas das quais utilizam cálculos específicos com base em fatores ambientais. Em vez de depender exclusivamente de fórmulas, o produtor também pode realizar uma análise conjunta dos principais indicadores de incêndio, avaliando empiricamente o risco em sua propriedade. Independentemente do método, é fundamental garantir uma comunicação eficaz com todos os trabalhadores (e, se possível, com vizinhos) em períodos de alto risco de incêndio. Os principais indicadores considerados incluem:

- Umidade relativa do ar: umidade baixa, especialmente abaixo de 30%, aumenta a inflamabilidade dos materiais vegetais. Esse índice é um dos mais monitorados, pois determina quão seca e propensa à queima está a vegetação.
- Temperatura do ar: temperaturas elevadas, especialmente em dias secos, aumentam a secagem da biomassa, tornando-a mais suscetível ao fogo. Temperaturas acima de 30°C costumam ser um fator de alerta.
- Velocidade e direção do vento: ventos fortes facilitam a propagação das chamas e o transporte de faíscas para áreas distantes. Geralmente, velocidades de vento acima de 20 km/h são vistas como risco elevado.
- Índice de secura do solo e da vegetação: este indicador se baseia na umidade do solo e na quantidade de vegetação seca acumulada, como folhas e restos de colheita. Biomassa acumulada, em especial nas épocas de seca, aumenta o potencial de incêndio.

Esses indicadores são avaliados diariamente, e o nível de risco é atualizado com base nas condições locais e nas previsões meteorológicas. Com o risco elevado, as propriedades geralmente intensificam as orientações de segurança, limitando o uso de máquinas que produzem faíscas e aumentando a vigilância.

Além do monitoramento climático, é importante realizar um levantamento completo da propriedade para identificar áreas de maior risco de incêndio. Setores com alta densidade de vegetação seca, resíduos agrícolas acumulados ou proximidade com vizinhos que realizam queimadas representam pontos críticos. A identificação desses locais facilita a adoção de medidas preventivas, como aceiros e controle de biomassa, reduzindo as chances de incêndio e a propagação do fogo.

11.2 Aceiros e barreiras naturais

Uma das estratégias mais eficazes para o controle de incêndios rurais é o uso de aceiros, linhas de defesa e barreiras naturais. Cada uma dessas estratégias cria zonas de contenção que dificultam o avanço das chamas, permitindo um controle mais eficiente e seguro em caso de incêndios nas proximidades ou dentro da propriedade.

Os aceiros são faixas de solo desprovidas de vegetação, criadas ao redor da propriedade e em áreas estratégicas de maior risco, para impedir que o fogo avance. Para serem eficazes, os aceiros devem ter uma largura de 3 a 5 metros, e ser mantidos livres de materiais combustíveis. A limpeza deve ser frequente, especialmente durante a estação seca, para evitar o acúmulo de biomassa que possa servir de combustível. Além disso, em terrenos inclinados, é importante observar que os aceiros sigam o contorno do terreno para reduzir a erosão. A Figura 12 mostra uma representação da criação de um aceiro na divisa da propriedade, deixando uma faixa de solo livre de material combustível. Isso evita que o fogo de propriedades vizinhas se alastre facilmente.



Figura 12 - Representação da criação de um aceiro na divisa da propriedade, deixando uma faixa livre de material combustível para prevenção de incêndios.

Fonte: Imagem gerada por Felipe Quartucci utilizando a ferramenta DALL-E no dia 09/12/2024, baseado em ANA (2024).

Os aceiros podem ser construídos emergencialmente também durante um incêndio para conter o fogo. Nessa situação, a largura vai depender da disponibilidade de equipamentos, intensidade do fogo e velocidade do vento. A Foto 16 ilustra o resultado de um aceiro de emergência em uma área de plantio de eucalipto. Na imagem à esquerda, é possível ver o fogo chegando no aceiro. Já a imagem à direita demonstra a eficácia dessa estratégia, evidenciando que o fogo foi contido e não conseguiu se propagar para o outro lado da área limpa.



Foto 16 - Resultado da criação de um aceiro com enxada durante o combate ao incêndio, em Três Lagoas (MS), 2010
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

A criação de barreiras naturais é outra forma de controlar o fogo. Barreiras naturais, como rios, açudes e áreas úmidas, são obstáculos naturais que limitam a propagação das chamas. Em locais onde essas barreiras não estão naturalmente presentes, a criação de açudes ou a manutenção de vegetação resistente ao fogo ao longo de trechos críticos podem ser alternativas eficazes. O feijão de porco pode ser utilizado para criação de uma barreira verde.

Uma abordagem complementar é a utilização de barreiras vegetativas com espécies de baixa inflamabilidade, como algumas gramíneas e leguminosas que mantêm maior umidade. Essas espécies atuam como um bloqueio para o fogo, pois são mais resistentes e ajudam a reduzir a velocidade de propagação das chamas. O plantio dessas espécies ao longo de cercas e na borda de áreas produtivas oferece uma proteção adicional e minimiza o impacto de incêndios vindos de áreas vizinhas. No Cerrado, espécies arbóreas como *Lavoisiera bergii*, *Palicourea rigida* e *Vochysia thyrsoidea* podem ser usadas como aceiros verdes, pois possuem baixa inflamabilidade. A escolha de barreiras naturais também é vantajosa porque ajuda a manter a umidade do solo nas áreas próximas.



Para garantir a eficácia dessas estratégias, é essencial realizar uma manutenção constante das barreiras criadas. Os aceiros devem ser monitorados e limpos regularmente, especialmente antes do período de seca, para garantir que estejam livres de material combustível. A manutenção das barreiras vegetativas, como o controle da altura das plantas e a remoção de folhas secas, também é crucial para evitar que elas próprias se tornem combustíveis em potencial.

11.3 Equipamentos para controle de incêndio

Para o controle eficaz de incêndios em propriedades rurais, é fundamental contar com os equipamentos certos, que permitam ações rápidas e seguras. Cada equipamento desempenha um papel específico no combate ao fogo, seja na contenção inicial ou na extinção de focos residuais. A quantidade de equipamentos necessários depende do tamanho da propriedade e do risco de incêndio. Importante destacar que os equipamentos devem ser de uso exclusivo para o controle de incêndio, e estarem facilmente acessíveis. Abaixo os principais equipamentos para combate ao fogo em áreas rurais.

Abafadores

Os abafadores são ferramentas manuais constituídas por uma lâmina de borracha larga e flexível, usada para “abafar” as chamas cortando o fornecimento de oxigênio. Eles são especialmente úteis para pequenos focos de incêndio ou chamas rasteiras (Foto 17). Em uma propriedade de tamanho médio, recomenda-se ter ao menos dez abafadores disponíveis em locais estratégicos.



Foto 17 - Abafador para controle de incêndio
SENAR (2018)

Enxadas e pá de corte

Esses equipamentos manuais são usados para remover materiais combustíveis e criar pequenas barreiras, controlando a propagação do fogo. São particularmente úteis para manter os aceiros e para cavar trincheiras em torno de focos de incêndio. Cada propriedade deve ter um conjunto de aproximadamente dez enxadas e pás, distribuídas em pontos estratégicos.

Bomba costal anti-incêndio

As bombas costais são tanques portáteis que carregam água e são utilizados nas costas, permitindo que o operador pulverize água diretamente sobre o fogo (Foto 18). Cada bomba costuma ter capacidade de 20 litros e é acionada por uma alavanca que pressuriza a água para alcançar áreas com precisão. Elas são ideais para áreas de difícil acesso onde veículos não conseguem chegar. Para propriedades de médio porte, recomenda-se cinco bombas costais.



Foto 18 - Bomba costal para controle do incêndio
Moura et al. (2023)

Motosserra

A motosserra é essencial para cortar árvores caídas ou vegetação espessa que possam alimentar o fogo ou obstruir o combate ao incêndio. Esse equipamento é ideal para áreas onde a vegetação densa aumenta o risco. É recomendável ter ao menos uma motosserra em propriedades rurais de médio a grande porte, especialmente em regiões de vegetação densa.

Tanques Pipa

Os tanques pipa são caminhões ou reboques equipados com grandes reservatórios de água, usados para transportar e distribuir água em áreas de risco ou diretamente sobre focos de incêndio. Com capacidade que varia entre 5.000 e 20.000 litros, esses tanques são ideais para propriedades rurais de grande porte ou em locais onde o acesso a fontes de água é limitado. Eles permitem um combate mais robusto a incêndios de grandes proporções e podem ser usados para abastecer bombas costais e pulverizadores motorizados.

Para propriedades extensas ou de alto risco de incêndio, ter ao menos um tanque pipa é recomendável. Esses tanques podem ser montados em caminhões ou reboques e são equipados com mangueiras de alta pressão, permitindo a aplicação direta de água sobre áreas críticas. A instalação de um tanque pipa é um investimento significativo, mas fundamental para propriedades de grande porte onde a proteção contra incêndios é essencial.

Esses equipamentos são fundamentais para o combate inicial ao fogo e devem ser acompanhados de treinamentos regulares, garantindo que todos saibam como utilizá-los de maneira segura e eficaz. A estrutura de equipamentos para combate ao fogo pode ser organizada de forma conjunta entre propriedades vizinhas, diluindo custos e garantindo que todos tenham acesso a equipamentos essenciais. Além disso, uma rede de comunicação entre vizinhos é fundamental para ações coordenadas: em caso de incêndio, cada propriedade pode mobilizar seus recursos rapidamente e apoiar a outra.

11.4 Queima de resíduos em propriedades rurais

A queima de resíduos que não seja de origem vegetal é proibida. Se o produtor for queimar o resíduos de origem vegetal, deve-se atentar para os seguintes pontos para evitar que o fogo pule para outras áreas e cause um impacto econômico e financeiro na sua propriedade e propriedades vizinhas:

- Escolha de local seguro: o local para a queima do resíduos vegetal deve ser cuidadosamente selecionado, preferencialmente longe de áreas de mata, pastagens, cercas e construções. É essencial que seja em terreno plano, sem vegetação seca ao redor e com aceiros previamente preparados, com no mínimo 3 metros de largura.
- Condições climáticas favoráveis: a queima só deve ser realizada em dias com baixa velocidade de vento (inferior a 10 km/h) e com umidade relativa do ar acima de 40%. Evite a queima em períodos de seca prolongada ou em horários de pico de calor, como entre 11h e 16h.
- Supervisão constante: nunca deixe o fogo sem supervisão. Mantenha uma pessoa responsável pela queima do início ao fim, equipada com abafadores, bombas costais ou água disponível para conter possíveis chamas fora de controle. Garanta que o fogo e brasas tenham se extinguido antes de deixar o local.
- Quantidade limitada de resíduos: queime pequenas quantidades por vez, facilitando o controle das chamas. Grandes volumes de resíduos geram fogo mais intenso e difícil de conter.

- Planejamento de resíduos: considere alternativas à queima, como a compostagem. Para detalhes de como realizar a compostagem, veja a seção 7.5. O manejo adequado do resíduos orgânico vegetal pode trazer benefícios ao solo, eliminando a necessidade de fogo.
- Contato com autoridades locais: em algumas regiões, pode ser necessário obter autorização para realizar queimas controladas. Consulte os órgãos locais e siga as regulamentações para evitar penalidades legais.

12 MANUTENÇÃO DAS PRÁTICAS E MONITORAMENTO DOS RESULTADOS DE QUALIDADE DOS SOLOS

As práticas edáficas são fundamentais para manter a saúde do solo e minimizar a erosão. No entanto, a eficácia dos resultados depende da manutenção dessas práticas. Para garantir que as práticas estão surtindo efeito a longo prazo, é fundamental implementar um monitoramento de alguns indicadores chave de qualidade do solo. O monitoramento também gera dados valiosos para o planejamento agrícola a longo prazo, garantindo a viabilidade econômica e ambiental da propriedade.

Neste capítulo, discutem-se alguns indicadores selecionados para o monitoramento no contexto do Programa Produtor de Água. Esses indicadores foram definidos considerando a sua relevância para o controle da qualidade do solo e da água, além de sua aplicabilidade para diferentes tipos de manejo e condições ambientais. Além disso, a escolha desses indicadores baseia-se na simplicidade de coleta dos dados e na facilidade de interpretação dos resultados, permitindo que tanto produtores quanto técnicos possam avaliar de forma prática e eficiente os efeitos das práticas implementadas.

12.1 Fertilidade do solo

O monitoramento da fertilidade do solo é realizado por meio de análises químicas periódicas, que avaliam os níveis de nutrientes disponíveis para as plantas, permitindo ajustes na adubação e outras práticas de manejo.

A frequência de amostragem ideal vai depender do tipo de cultura, profundidade de coleta e tipo de análise. A Tabela 19 apresenta uma recomendação geral de frequência de coleta e análise de solo. Certamente que pode haver variações na frequência e esse quadro deve ser adaptado de acordo com as particularidades do produtor. Por exemplo, caso um produtor de milho queira fazer um trabalho específico de melhoria do perfil do solo, terá que coletar o solo na camada de 20 a 40 cm (e até mais profundo) anualmente. Para mais detalhes sobre a metodologia de coleta, consulte o Capítulo 4 deste manual.

Tabela 19 - Frequência recomendada de coleta e análise de solo de acordo com o tipo de cultura, profundidade de coleta e tipo de análise de solo³⁷.

Tipo de cultura	Profundidade (cm)	Tipo de análise	Frequência
Anual	0-20	Macronutrientes	Anual
		Micronutrientes	2 a 3 anos
		Textura	5 anos
	20-40	Macronutrientes	3 a 5 anos
		Micronutrientes	5 anos
		Textura	1 única vez ³⁸
Perene	0-20	Macronutrientes	Anual
		Micronutrientes	2 a 3 anos
		Textura	1 única vez
	20-40	Macronutrientes	Anual
		Micronutrientes	3 a 5 anos
		Textura	1 única vez
Pastagem	0-20	Macronutrientes	1 a 3 anos ³⁹
		Micronutrientes	3 a 5 anos
		Textura	1 única vez
	20-40	Macronutrientes	Na renovação
		Micronutrientes	Na renovação
		Textura	1 única vez
Hortas	0-20	Macronutrientes	1 a 2 vezes por ano
		Micronutrientes	Anual
		Textura	2 a 3 anos
	20-40	Macronutrientes	Não é necessário ⁴⁰
		Micronutrientes	Não é necessário
		Textura	Não é necessário

12.2 Matéria orgânica do solo

A implementação de práticas edáficas discutidas nesse manual reflete diretamente o teor de matéria orgânica do solo. A matéria orgânica é um ótimo indicador de qualidade do solo, pois está relacionada com diversos atributos, como fertilidade do solo e infiltração de água.

Para a análise de matéria orgânica, deve-se coletar o solo de acordo com a metodologia discutida no Capítulo 3 deste manual. Sugere-se uma frequência de coleta anual para o monitoramento da matéria orgânica. Além disso, sugere-se que sejam coletadas amostras além da profundidade convencional (0-20 cm), uma vez que práticas como adubação verde e rotação de culturas podem influenciar os teores de matéria orgânica além da camada superficial.

³⁷ Fonte: Adaptado de Chitolina et al. (2009) e Coelho et al. (2002).

³⁸ Em caso de preparo de solo mais profundo onde haja mistura da camada superficial com subsuperficial, pode ser necessário realizar a análise de textura com certa frequência.

³⁹ Um ano para espécies exigentes em fertilidade (capim colônia, Napier, grama estrela) e de 2 a 3 anos para espécies menos exigentes (Braquiárias).

⁴⁰ Em alguns casos específicos pode ser conveniente realizar uma análise da camada 20-40 cm, como por exemplo em uma horta de tomate, onde pode haver bastante raízes abaixo da camada superficial de solo.

Para verificar se o solo está apresentando um incremento adequado nos teores de matéria orgânica após a implementação das práticas edáficas, recomenda-se compará-los com padrões médios previamente estabelecidos. Em sistemas de plantio direto, por exemplo, a dinâmica da matéria orgânica ao longo do tempo tende a seguir um padrão semelhante ao apresentado na Figura 13. Outras práticas edáficas podem apresentar uma tendência similar, embora com aumentos de menor magnitude devido às suas especificidades e intensidade de impacto no sistema do solo.

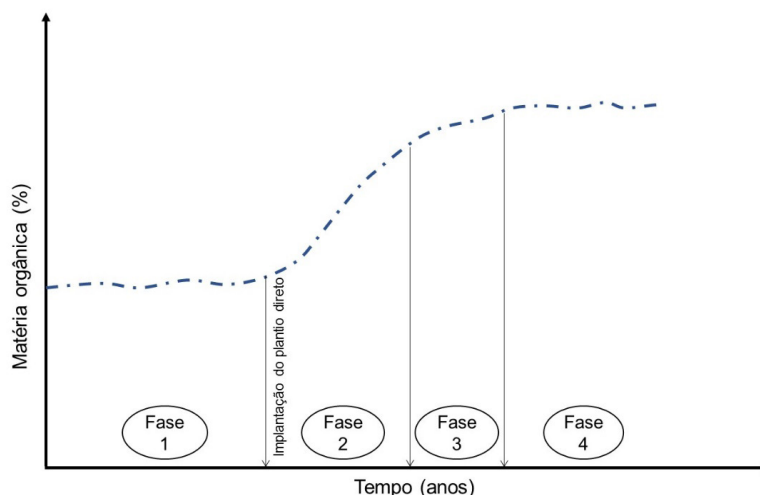


Figura 13 - Representação da dinâmica da matéria orgânica no solo após a implementação do plantio direto.

Fonte: baseado em Guareschi; Pereira; Perin (2016) e Sá et al. (2001, 2009) which might interfere with densimetric fractions of soil organic matter (SOM).

A Fase 1 corresponde ao manejo com preparo convencional do solo, onde os teores de matéria orgânica tendem a se manter estáveis na ausência de mudanças significativas. Com a implantação do plantio direto, inicia-se a Fase 2, marcada por um aumento rápido na matéria orgânica, que dura de 10 a 20 anos, dependendo do clima e do tipo de solo. Em climas amenos e solos argilosos, esse acúmulo ocorre mais rapidamente (cerca de 10 anos), enquanto em regiões quentes, com solos menos argilosos, pode se estender por 20 anos ou mais.

A Fase 3 é caracterizada por um aumento mais gradual nos teores de matéria orgânica, geralmente ao longo de 5 a 10 anos, dependendo das condições locais. Na Fase 4, a matéria orgânica atinge um novo patamar de estabilização, mantendo-se em níveis elevados. Desde que não ocorram eventos climáticos extremos ou mudanças significativas no manejo, esses níveis tendem a se manter estáveis a longo prazo, consolidando os benefícios do plantio direto e outras práticas edáficas para a saúde e fertilidade do solo.

Caso o solo não apresente incremento adequado de matéria orgânica ao longo do tempo, algumas modificações no manejo podem ser necessárias. É importante lembrar que o acúmulo de matéria orgânica não ocorre de forma linear, podendo haver estabilizações ou pequenas reduções anuais, desde que o aumento seja observado no longo prazo (3 a 5 anos).

Primeiramente, avalie a qualidade e quantidade da palhada e das plantas de cobertura. Espécies que produzem maior biomassa, como leguminosas e gramíneas de ciclo longo, favorecem o aumento da matéria orgânica. Opte por espécies com maior relação C/N, que apresentam decomposição mais lenta, contribuindo para maior acúmulo no solo.

Além disso, a adubação orgânica, como compostos ou resíduos de origem animal, pode fornecer substrato adicional e estimular a atividade biológica do solo. Priorize materiais com relação C/N mais alta (>15), como esterco bovino curtido, em vez de esterco de galinha, devido à liberação mais gradual de nutrientes e à contribuição mais efetiva para a matéria orgânica.

12.3 Compactação do solo

Em áreas manejadas dentro do Programa Produtor de Água, a compactação excessiva pode resultar em escoamento superficial e erosão, além de prejudicar a absorção de nutrientes pelas plantas. Monitorar a compactação permite identificar áreas de solo com resistência elevada, onde as práticas de manejo precisam ser ajustadas.

Recomenda-se realizar a avaliação da compactação anualmente nas áreas de produção. Uma avaliação frequente permite ao produtor identificar problemas precocemente, possibilitando intervenções corretivas antes que a compactação afete o crescimento radicular e o desenvolvimento das plantas de forma mais significativa.

A avaliação da compactação do solo pode ser feita por métodos práticos e acessíveis, como o uso do penetrômetro, que mede a resistência do solo à penetração em diferentes profundidades. Existem diversos tipos de penetrômetros, cada um com características específicas. O penetrômetro de impacto destaca-se como uma opção intermediária: é mais preciso do que os modelos manuais e mais acessível do que os eletrônicos, tornando-se uma alternativa viável para o contexto do Programa Produtor de Água. As recomendações gerais estão apresentadas a seguir, e um detalhamento completo sobre seu uso pode ser acessado neste [link⁴¹](#).

Primeiramente, selecione uma área representativa da lavoura ou local de interesse. Evite bordas, locais muito compactados pelo tráfego de máquinas ou áreas com excesso de pedras. Realize o teste quando o solo estiver úmido, mas não saturado — cerca de 1 a 2 dias após uma chuva moderada. Essa condição evita distorções nos resultados. Limpe a área removendo resíduos soltos e detritos para garantir medições precisas.

Insira o penetrômetro verticalmente no solo. Faça leituras em intervalos regulares, como a cada 5 cm de profundidade. Repita a medição em 3 a 5 pontos diferentes da área selecionada para obter resultados mais representativos. Anote as leituras de profundidade após cada impacto.

Para facilitar o cálculo da compactação e a visualização dos resultados, um artigo detalhado (disponível neste [link⁴²](#)) oferece uma planilha que permite calcular automaticamente os valores médios de compactação ao longo do perfil do solo e gerar gráficos a partir dos dados de campo.

A interpretação dos resultados pode variar conforme a textura do solo. Em solos mais argilosos, os níveis críticos de resistência podem ser ligeiramente superiores. No entanto, de uma maneira geral, valores de referências são:

- < 2 MPa: baixa resistência, não limita o crescimento radicular
- 2-3 MPa: média resistência, provável limitação ao crescimento radicular
- > 3 MPa: resistência alta, severa limitação ao crescimento radicular

Se a compactação atingir ou ultrapassar esse limite, algumas ações corretivas são recomendadas. Em casos de compactação superficial, o uso de plantas de cobertura com raízes profundas, como a braquiária ou o nabo forrageiro, pode ajudar a descompactar o solo biologicamente, melhorando sua estrutura ao longo das safras.

Para compactação mais intensa ou em camadas sub-superficiais, uma intervenção mecânica pontual, como o uso de subsolador em áreas específicas, pode ser necessária antes do retorno ao plantio direto. Esse manejo deve ser feito de forma localizada, evitando o revolvimento do solo em grandes áreas, o que poderia comprometer a estrutura e os benefícios do sistema de plantio direto.

⁴¹ <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/zcJVqSzXp7SRtYhJ87dQqM/?format=pdf&lang=pt>

⁴² <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/4PpJK8yGc7f3PRZ5HrmNtvY/?format=pdf&lang=pt>

12.4 Infiltração de água

A infiltração de água no solo é a capacidade do solo permitir o movimento da água através de seus poros. Solos com alta taxa de infiltração são menos suscetíveis à erosão, pois reduzem o escoamento superficial, um dos principais agentes de erosão. Dessa forma, a infiltração de água é um ótimo indicador em projetos do Programa Produtor de Água.

O monitoramento da infiltração pode ser realizado por meio do teste de infiltração com anel duplo, que mede o tempo necessário para a água infiltrar no solo. Recomenda-se que o teste seja conduzido anualmente, preferencialmente logo após o final da estação chuvosa, permitindo avaliar o impacto das chuvas.

Para realizar o teste, comece escolhendo uma área representativa do solo que deseja monitorar. Realize o teste quando o solo estiver próximo da capacidade de campo. Essa umidade é identificada após um ou dois dias de uma chuva moderada, quando o solo não está saturado. Evite realizar o teste imediatamente após chuvas fortes ou em solo completamente seco, pois esses extremos podem distorcer os resultados de infiltração.

Uma descrição detalhada de como realizar esse teste pode ser visualizado nesse [vídeo⁴³](#). A Foto 19 mostra o teste sendo realizado em campo.



Foto 19 - Anel duplo instalado e preenchido com água, em Sorocaba (SP), 2018
Felipe Quartucci/Banco de Imagens ANA

Para avaliar os resultados da taxa de infiltração de uma área, é importante contextualizar os valores obtidos. Compare os resultados com medições de anos anteriores na mesma área para verificar se a taxa de infiltração está aumentando ou, ao menos, se mantém estável. Também é útil realizar comparações com áreas de referência, como uma mata nativa, que pode servir como um parâmetro do potencial de infiltração ideal. Embora as taxas na área manejada geralmente sejam menores, a referência ajuda a avaliar a qualidade do solo em relação ao seu estado natural. No geral, a classificação das taxas de infiltração pode ser feita da seguinte forma: muito alta (> 30 mm/h), alta (15-30 mm/h), média (5-15 mm/h) e baixa (< 5 mm/h) (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006). No entanto, em contextos tropicais e alguns tipos de solo, as taxas de infiltração pode ser bem superiores a 30 mm/h.

⁴³ <https://www.youtube.com/watch?v=3Uce1t8d5Cw>

13 PRÁTICAS EDÁFICAS NO CONTEXTO DA BACIA HIDROGRÁFICA

O Manual de Práticas Edáficas foi desenvolvido para fornecer um conjunto abrangente de diretrizes técnicas com foco na melhoria do solo e seu impacto na melhoria da qualidade e quantidade de água no âmbito do Programa Produtor de Água. O manual sintetiza práticas baseadas em conhecimento científico e adaptadas às condições de campo.

Quando as práticas edáficas são implementadas adequadamente, os resultados vão além da redução da vulnerabilidade do solo à erosão. A aplicação do manual promove melhorias na fertilidade, estrutura e capacidade de retenção de água do solo, ao mesmo tempo em que assegura maior regularidade na oferta hídrica e melhor qualidade da água para diversos usos.

A implementação das práticas apresentadas neste manual deve ser vista como parte de um esforço maior de gestão da bacia hidrográfica. Uma visão integrada reconhece que ações em propriedades específicas impactam diretamente a qualidade e a quantidade de água disponível para todos os usuários a jusante.

Além disso, os incentivos oferecidos por meio de mecanismos de Pagamento por Serviços Ambientais reforçam a viabilidade e a motivação para a adoção dessas práticas. Os produtores rurais que aplicam práticas de manejo sustentável não apenas aumentam a produtividade de suas áreas, como também recebem pela adoção das práticas. Os beneficiários, por sua vez, ganham em segurança hídrica, com água de melhor qualidade e maior regularidade de oferta.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico estabelece que a adoção de práticas edáficas é elegível para o Pagamento por Serviços Ambientais, com o valor do pagamento sendo proporcional à redução da erosão obtida. O Volume 1 desta série de manuais (disponível neste [link⁴⁴](#)) destaca técnicas como plantio direto, rotação de culturas e recuperação de pastagens como práticas eficazes para o controle da erosão, permitindo que produtores as implementem em áreas de manejo e integrem o sistema de Pagamentos por Serviços Ambientais.

Por fim, o Programa Produtor de Água é um exemplo de como integrar ações locais e políticas ambientais pode gerar impactos significativos na sustentabilidade ambiental e socioeconômica. Que este manual seja uma ferramenta útil e prática para todos os envolvidos, inspirando ações que perpetuem o equilíbrio entre o uso dos recursos naturais e sua conservação.

44 <https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua>

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. T. DA E. et al. Boletim 200 - Instruções Agrícolas para as Principais Culturas Econômicas. Campinas, SP: Instituto Agronomico de Campinas IAC, 2014.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8. ed. Vicosa, MG: UFV, 2006.
- BORIN, A. L. D. C. et al. Diagnose Visual de Deficiências Nutricionais do Algodoeiro: Circular Tecnica 134. Campina Grande, PB: Embrapa, jan. 2013.
- BRASIL, E. C.; CRAVO, M. DA S. Interpretacao dos resultados da analise do solo. Em: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. DA S.; VIEGAS, I. DE J. M. (Eds.). Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará. 2. ed. Brasilia, DF: Embrapa, 2020.
- BRASIL, E. C.; CRAVO, M. DA S.; VIEGAS, I. DE J. M. Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará. 2. ed. Brasilia, DF: Embrapa, 2020.
- CAVALCANTI, F. J. DE A. et al. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª aproximação. Recife, PE: IPA, 2008.
- CHITOLINA, J. C. et al. Amostragem de solo para analises de fertilidade, de manejo e de contaminacao. Em: SILVA, F. C. DA (Ed.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. 2. ed. Brasilia, DF: Embrapa Informacao Tecnologica, 2009. p. 23–57.
- COELHO, A. M. et al. Amostragem de Solos: a base para a aplicação de corretivos e fertilizantes: Comunicado Tecnico 42. Sete Lagoas, MG: Embrapa, 2002.
- COSTA, M. C. G.; FERREIRA, G. B.; ARAUJO, A. M. Apostila do curso de interpretação de análises de solo e recomendação de calagem e adubação no Estado de Roraima. Roraima: [s.n.].
- FAQUIN, V. Diagnose do estado nutricional das plantas. Lavras, MG: UFLA/FAEPE, 2002.
- FREIRE, L. R. et al. Manual de calagem e adubação do estado do Rio de Janeiro. 1. ed. Brasilia, DF: Embrapa, 2013.
- GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Densimetric fractionation of organic matter in an agricultural chronosequence in no-till areas in the Cerrado region, Brazil. Semina: Ciências Agrárias, v. 37, n. 2, p. 595, 26 abr. 2016.
- LIMA FILHO, O. F. DE et al. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil - Fundamentos e prática. 2. ed. [s.l.] Embrapa, 2023. v. 1
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1997.
- MOURA, L. C. et al. Guia prático para elaboração de plano de manejo integrado do fogo em comunidades rurais e tradicionais. Brasilia: ISPN, Ibama/Prevfogo, Boitata Consultoria e UnB, 2023.
- PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. Manual de adubação e calagem para o Estado do Paraná. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2019.

- PENTEADO, S. R. Adubação orgânica: Compostos orgânicos e biofertilizantes. [s.l.] Via Organica, 2010.
- PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G. Guia de interpretação de análise de solo e foliar. Vitoria, ES: Incaper, 2013.
- RAIJ, B. VAN et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo 2.ed. rev. e atual. Campinas: Instituto Agronomico/Fundacao IAC, 1997.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARAES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação. Vicosa: Comissao de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999.
- SA, J. C. D. M. et al. Organic Matter Dynamics and Carbon Sequestration Rates for a Tillage Chronosequence in a Brazilian Oxisol. Soil Science Society of America Journal, v. 65, n. 5, p. 1486–1499, set. 2001.
- SA, J. C. D. M. et al. Soil organic carbon and fertility interactions affected by a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol. Soil and Tillage Research, v. 104, n. 1, p. 56–64, jun. 2009.
- SBCS. Manual de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. [s.l.] Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo - Nucleo Regional Sul, 2016.
- SENAR. Fogo: prevenção e controle no meio rural. Brasilia: Servico Nacional de Aprendizagem Rural SENAR, 2018.
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002.
- SOUZA, D. M. G. DE; LOBATO, E.; REIN, T. A. Uso de Gesso Agrícola nos Solos do Cerrado. Embrapa, p. 19, 2005.



PROGRAMA
PRODUTOR DE ÁGUA



MINISTÉRIO DA
**INTEGRAÇÃO E DO
DESENVOLVIMENTO
REGIONAL**

GOVERNO DO
BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

ISBN 978-658810182-7

