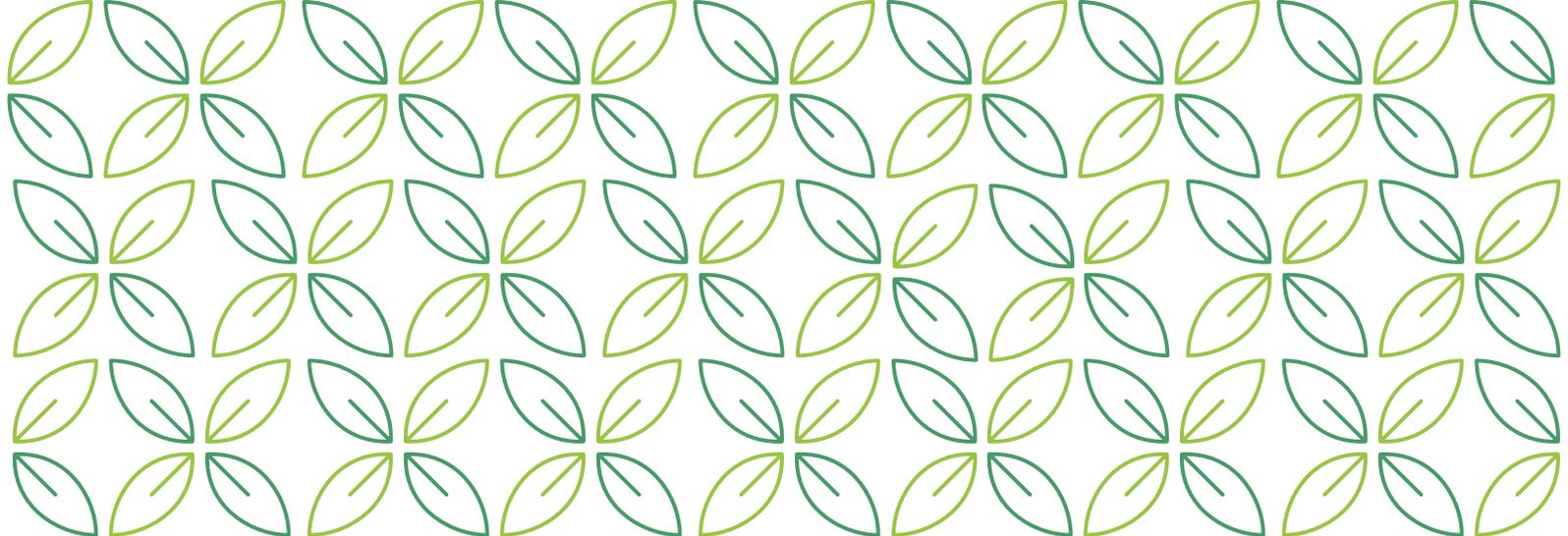


PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA



SÉRIE MANUAIS DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA:
**VOL. 5 PRÁTICAS MECÂNICAS PARA CONSERVAÇÃO
DE SOLOS E RECURSOS HÍDRICOS**





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 Régo
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. 5 PRÁTICAS MECÂNICAS 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

Nazareno Marques de Araújo
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

Consultor

Lauro Bassi

Revisão projeto gráfico e capa

Nageysiel da Silva Pires

Diagramação

Jadson Nobre da Silva

Foto da capa

Cachoeira na antiga estrada que ligava o paraná a Santa Catarina - Floresta Atlântica - PR
Ricardo Zig Koch Cavalcanti / 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 Mecânicas para Conservação de Solos e Recursos Hídricos /
Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. – Brasília: ANA, 2025.
136 p.: il. – (Série Manuais do Programa Produtor de Água; v. 5)

ISBN: 978-65-88101-72-8

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

CDU 502.13(035)

Elaborada por Fernanda Medeiros – CRB-1/1864

Lista de Figuras

Figura 1 – Arado subsolador.	64
Figura 2 – Arado escarificador.....	65
Figura 3 - Perfil esquemático de sistema de controle de voçorocas usando barraginhas e curvas de nível com cochinhos.....	84
Figura 4 - Perfil esquemático de curva de nível com Cochinhos em corte transversal para 10% e 25% de inclinação.....	84
Figura 5 – Dreno profundo.	95
Figura 6 – Visualização do desaguadouro ou bigode.....	99
Figura 7 – Visualização da valeta de proteção.	101

Lista de Fotos

Foto 1 - Barraginha com detalhe do extravasor ou "ladrão"	31
Foto 2 - Barraginhas no período de estiagem.....	32
Foto 3 - Barraginhas retendo a água no período de chuva	32
Foto 4 - Barraginha circular contendo a enxurrada proveniente de estrada rural vicinal.....	33
Foto 5 - Barraginha em formato de meia lua	34
Foto 6 - Barraginhas em série no talvegue de uma drenagem natural do terreno.....	35
Foto 7 - Faces de uma colher exemplificando relevos côncavos e convexos recebendo água..	36
Foto 8 - Destaque de barraginhas em áreas de lavoura e café.....	37
Foto 9 - Terraços e barraginhas em áreas de pastagem, Projeto Perobas - Produtor de Água. .	37
Foto 10 - Barraginhas construídas ao longo de estrada rural vicinal.....	38
Foto 11 - Barraginhas recolhendo águas da estrada através de bigodes.	38
Foto 12 – Imagem demonstrativa de inserção de barraginhas em rota de enxurrada.	41
Foto 13 – Imagem demonstrativa de ajuntamento do solo superficial em local de futura barraginha.	41
Foto 14 – Imagem demonstrativa de delimitação e início da construção da barraginha.	42
Foto 15 – Imagem demonstrativa de escavação da barraginha.	42
Foto 16 – Imagem demonstrativa de acabamento da barraginha.....	42
Foto 17 - Gado em barraginha para dessedentação – Projeto Barraginhas.....	43
Foto 18 - Barraginha em manutenção – Projeto de PSA – Ubá/MG.	44
Foto 19 - Terraço Tipo Mangum.....	45
Foto 20 - Microterraceamento "miniestrada" entre as linhas dos cafeeiros	45
Foto 21 - Unidade: Embrapa Trigo - Publicação: 09/11/2016	48
Foto 22 - Terraços em pastagem - Projeto Terra das Águas – Formiga/MG - Programa Produtor de Água da ANA.....	48
Foto 23 - Feijão guandu como estratégia para cobertura e recuperação do solo exposto após a execução de terraço, plantado na margem inferior, município de Atilio Vivácqua/ES.....	48
Foto 24 - Recuperação de pastagem degradada com o uso de curva de nível em cochinhos, município de Atilio Vivácqua-ES, 4 anos após a implantação (detalhe).	52
Foto 25 - Recuperação de pastagem degradada com o uso de curva de nível em cochinhos, município de Atilio Vivácqua-ES, 4 anos após a implantação (vista aérea).....	52
Foto 26 - Curva de Nível em Cochinhos (em construção).....	53
Foto 27 - Curva de Nível em Cochinhos (finalizada).....	53
Foto 28 - Curva de Nível (separação entre cochinhos), município de Atilio Vivácqua-ES.....	53
Foto 29 - Curva de Nível (separação entre cochinhos), município de Atilio Vivácqua-ES.....	54
Foto 30 - Terraceamento executado com arado de boi em área declivosa para implantação de sistema agroflorestal com banana.....	54
Foto 31 - Construção de terraço de base estreita com arado de três discos.	56

Foto 32 - Construção de terraço de base larga com arado terraceador agrícola.....	57
Foto 33 - Construção de terraço com trator de esteiras.	57
Foto 34 - Microterraceamento com inclinação leve (5-10%) - espachamento menor.....	59
Foto 35 - Microterraceamento com inclinação leve (5-10%) - espachamento maior e maquinários de tratos culturais.	59
Foto 36 - Construção de microterraços em lavouras implantadas com Mini Escavadeira.....	59
Foto 37 - Área canavieira preparada com a técnica ESD, demonstrando a direção do fluxo da drenagem da água pluvial.	72
Foto 38 - Área canavieira preparada com a técnica ESD, demonstrando a direção do fluxo da drenagem da água pluvial.	73
Foto 39 - Área preparada com a técnica ESD, demonstrando a direção do fluxo da drenagem e do escoamento superficial.	73
Foto 40 - Área preparada com técnica de ESD.....	74
Foto 41 - Evidência de funcionamento do sistema de ESD.	74
Foto 42 - Falha hidráulica sequencial causada por colapso de estruturas de terraceamento.	76
Foto 43 - Área preparada em faixas com a técnica ESD.	77
Foto 44 - Área canavieira preparada em faixas com a técnica ESD.....	77
Foto 45 - Implantação de sistema de Escoamento Superficial Difuso em área de alto risco de erosão.	79
Foto 46 - Sistema de ESD com sistematização, preparo e plantio em faixas, respectivamente.....	79
Foto 47 - Áreas de produção em sistema ESD produzindo uma perspectiva de Mudança na Paisagem.....	80
Foto 48 - Paliçadas de Eucaliptos Tratados para contenção de encosta.....	82
Foto 49 - Paliçadas de eucaliptos tratados para contenção de encosta, com plantio de mix de sementes para estabilização.	83
Foto 50 - Processo erosivo.....	87
Foto 51 - Formação de voçorocas.	87
Foto 52 - Atividades em curso.....	87
Foto 53 - Talude reconformado.	88
Foto 54 - Terraços construído.....	88
Foto 55 - Barraginhas instaladas.....	88
Foto 56 - Paliçadas instaladas.	89
Foto 57 - Recuperação concluída (destaque para a integração de práticas).....	89
Foto 58 - Trecho de estrada com rampa superior a 20%.	93
Foto 59 - Sulcos transversais	93
Foto 60 - Curva com visibilidade limitada.....	94
Foto 61 - Lomba com plataforma estreita.	95
Foto 62 - Aterro (elevação de greide).....	95
Foto 63 - Talude com plantio de vegetação	96

Foto 64 - Plataforma com abaulamento.....	97
Foto 65 - Plataforma com abaulamento.....	97
Foto 66 - Sarjeta sem revestimento vegetal)	98
Foto 67 - Sarjeta vegetada	99
Foto 68 - Desaguadouro (bigode).	99
Foto 69 - Barraginha.....	102
Foto 70 - Panelas	103
Foto 71 - Costeletas	103
Foto 72 - Erosão	103
Foto 73 - Erosão na valeta (sarjeta).....	104
Foto 74 - Água empoçada.....	104
Foto 75 - Afloramento rochoso	105
Foto 76 - Acesso a propriedade.....	105
Foto 77 - Presença de leira	105
Foto 78 - Falta de bueiro.....	106
Foto 79 - Mureta.....	106
Foto 80 - Caixa coletora.....	107
Foto 81 - Boca de saída.....	107
Foto 82 - Erosão a jusante do bueiro.....	108

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Máquinas e equipamentos utilizados para a execução das práticas propostas apresentando a potência (HP), o custo (R\$/hora) e as atividade executas e seu respectivo rendimento.....	29
Tabela 2 - Classificações e tipos de terraços.....	46
Tabela 3 - Espaçamentos horizontais e verticais gerados pelo programa HidroTerraço 1.0 para a locação do terraço para a região de Chapecó, SC.....	50
Tabela 4 - Espaçamento de terraços em nível para culturas perenes e anuais, sem gradiente (metros).....	50
Tabela 5 - Custos estimados para projeto, execução e manutenção de terraceamento, utilizando-se como base um levantamento de gastos para 10 hectares.	55
Tabela 6 - Custos associados às práticas de subsolagem e escarificação.....	70
Tabela 7 - Especificações geotécnicas.....	94
Tabela 8 - Velocidades aplicadas na plataforma.....	98
Tabela 9 - Espaçamento entre desaguadouros ou bigodes em função da declividade da rampa	100
Tabela 10 - Velocidade máxima do escoamento (m/s) em valetas laterais (plataforma 8 m, abaulamento 4%)	100
Tabela 11 - Velocidade admissível recomendada por Fortier e Scobey	101
Tabela 12 - Máximas velocidades admissíveis em canais revestidos	101
Tabela 13 - Erosão em valetas dos grupos da classificação MCT	101
Tabela 14 - Especificação tentativa de materiais para revestimento.....	110
Tabela 15 - Defeitos em estradas rurais vicinais e soluções propostas	111
Tabela 16 - Características geológicas, ocorrência de materiais e defeitos do revestimento	112
Tabela 17 - Produtividade de equipamentos e mão de obra	113
Tabela 18 - Equipamentos utilizados na manutenção de estradas	114

Lista de Siglas

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
BDs	Basaltos Decompostos
Cati-SP	Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
CAU	Conselho de Arquitetura e Urbanismo
CEER	Conceito Ecológico de Estradas Rurais
CEV	Canais Escoadouros Vegetados
Confea	Conselho Federal de Engenharia e Agronomia
Crea	Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EH	Espaçamento Horizontal
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Epagri-SC	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural de Santa Catarina
Esalq	Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”
ESD	Escoamento Superficial Difuso
EUA	Estados Unidos da América
EV	Espaçamento Vertical
GIS	Geographic Information System
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center’s Hydrologic Modeling System
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
Incaper	Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
InVEST	Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade
MDE	Modelo Digital de Elevação
MPM	Melhores Práticas de Manejo
PACS	Planejamento Antecipado da Cobertura do Solo
PCE	Projeto de Controle de Erosão
PCJ	Piracicaba, Capivari e Jundiá
PCX	Projeto de Controle de Enxurrada
PSA	Pagamento por Serviço Ambiental
QGIS	Sistema de Informação Geográfica baseado em Software Livre
RL	Reserva Legal
SAA	Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo
SAF	Sistema Agroflorestal
SIG	Sistema de Informações Geográficas
Singreh	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
TNC	The Nature Conservancy
TR	Tempo de Retorno
UC	Unidade de Conservação
USP	Universidade de São Paulo
VIB	Velocidade de Infiltração de Água no Solo

Sumário

	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

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. 6 – Práticas Edáficas 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 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	Critérios para escolha das culturas na rotação.....	70
9.2	Esquemas de rotação de culturas.....	71
9.3	Planejamento dos ciclos de rotação	73
10	PLANTIO DIRETO.....	75
10.1	Preparação para implantação 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	MANUTENÇÃO 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	Compactação do solo.....	89
12.4	Infiltração de água.....	90
13	PRÁTICAS EDÁFICAS NO CONTEXTO DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	91
	REFERÊNCIAS	92

APRESENTAÇÃO

É com muita satisfação que apresentamos o quinto 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 Jundiá (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 de 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.

O Volume 5 da série de manuais do Programa Produtor de Água é dedicado às **práticas mecânicas de conservação de solos e água**, abordando técnicas que promovem o controle da erosão, o aumento da infiltração de água no solo e a recuperação de áreas degradadas, especialmente no meio rural. A publicação oferece orientações técnicas, voltadas para técnicos, gestores, produtores rurais e equipes responsáveis pela implantação de projetos em microbacias hidrográficas. Ao valorizar a integração entre conhecimento técnico, experiências locais e sustentabilidade ambiental, o manual fortalece a proposta do Programa de promover a segurança hídrica por meio de soluções práticas e adaptadas às realidades do território.

A estrutura do documento está organizada em capítulos que abordam desde aspectos legais e técnicos gerais até a apresentação de práticas específicas, como barraginhas, terraceamento, microterraceamento, subsolagem, escarificação, bioengenharia e técnicas de escoamento superficial difuso. O manual também dedica capítulos exclusivos à recuperação de áreas degradadas e à manutenção de estradas rurais vicinais – componentes estratégicos para a funcionalidade hidrológica e produtiva das bacias. Com linguagem acessível e conteúdo técnico, o Volume 5 visa apoiar a tomada de decisão local, facilitar a adaptação das práticas aos diferentes contextos edafoclimáticos e contribuir para a construção de projetos mais eficientes, resilientes e duradouros.

2 DIRETRIZES TÉCNICAS GERAIS

Este capítulo integra as informações sobre as práticas mecânicas de conservação do solo e recursos hídricos com relação a aspectos legais aplicáveis em legislações estaduais e federais, aplicabilidade e adequabilidade aos projetos e programas de identificação e mitigação de processos erosivos, metodologias de identificação de processos erosivos, através de sensoriamento remoto e identificação de especificidades em estradas rurais vicinais.

2.1 Aspectos Legais

Algumas atividades de finalidade agrícola em pequenas áreas (terraceamento, subsolagem, escarificação), ou pequenas movimentações de solo (caixas secas e barraginhas), tal como a realização de sua manutenção, podem não estar sujeitas às licenças e autorizações estaduais e/ou municipais.

2.1.1 Legislação Federal

Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012) - Nas Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL) é vetada a movimentação de solo, salvo exceção das autorizações obtidas para fins de interesse social ou utilidade pública.

2.1.2 Legislação Estadual

Cada estado brasileiro tem competência para legislar sobre o uso do solo, especialmente em questões relacionadas à conservação ambiental, drenagem, erosão e manejo de áreas degradadas. As leis estaduais geralmente detalham os regulamentos sobre o uso e ocupação do solo, com foco em questões de proteção ambiental, como o controle de erosão, drenagem e atividades agrícolas que deverão ser consultadas no âmbito dos projetos.

2.1.3 Legislação Municipal

É fundamental consultar as secretarias, órgãos e a legislação do município antes de proceder a movimentação de solo. Cada município possui normas próprias para o controle de erosão, ocupação de encostas e contenção de deslizamentos, sendo que a autorização para movimentação de solo em áreas urbanas e rurais menores depende dessas normativas locais.

2.1.4 Unidades de Conservação e áreas adjacentes

Pode haver restrições para a execução de práticas mecânicas de conservação do solo nas áreas próximas ou dentro de unidades de conservação (UCs) e suas zonas de amortecimento. Isto se deve à necessidade de proteger ecossistemas frágeis e garantir a preservação dos recursos naturais. As restrições visam garantir que as intervenções humanas não comprometam os objetivos de preservação das UCs. A zona de amortecimento, que circunda a UC, tem o papel de minimizar os impactos de atividades externas sobre a área protegida.

2.1.5 Responsabilidade técnica

A emissão de uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) junto ao Crea (Conselho Regional de Engenharia e Agronomia) é fundamental para garantir a segurança, qualidade e conformidade legal na execução de práticas mecânicas de conservação do solo, como a construção de barraginhas, terraceamento e contenção de erosão. A obrigatoriedade da emissão da ART está prevista na Lei nº

6.496/1977, que determina sua exigência para todas as atividades técnicas que envolvam risco ou impacto ambiental significativo.

2.2 Aspectos Técnicos Gerais

O processo de seleção da prática a ser implementada deve levar em consideração o maior número de fatores possível, evitando os riscos e impactos prejudiciais e desnecessários, que podem afetar a produtividade, o ambiente e as pessoas. Por este motivo, alguns fatores são apresentados para contribuir na escolha mais adequada das práticas a serem implantadas.

2.2.1 Projeto e implantação

(a) Avaliação da área e seleção do local de implantação

A observação e a análise visual das condições da área são ferramentas fundamentais para a determinação das medidas mais adequadas de conservação do solo e dos recursos hídricos, tanto na agricultura quanto na pecuária. Ao observar detalhadamente o relevo, o escoamento da água, a vegetação e os sinais de erosão, o produtor rural, ou técnico, consegue identificar as características específicas do terreno que demandam intervenções. Esse processo permite uma avaliação inicial abrangente, servindo como base para a tomada de decisões sobre práticas de conservação do solo e água, como terraceamento, barraginhas subsolagem, escarificação, escoamento superficial difuso, recuperação de áreas degradadas, entre outras.

(b) Softwares gratuitos para dimensionamento de terraços, barraginhas e caixas secas

(i) Terraço 4.1

Desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa, é uma ferramenta projetada para auxiliar no dimensionamento de estruturas de conservação de solo e água, como terraços, barraginhas e caixas secas, com base em dados hidrológicos e topográficos. Para usá-lo, o usuário precisa inserir informações essenciais, como a área de contribuição a montante da estrutura (em hectares), a declividade do terreno, o tipo de solo (argiloso, franco ou arenoso), os dados de precipitação da região e o coeficiente de escoamento (*runoff*), que influencia o cálculo do volume de água escoada. Esses dados permitem que o programa calcule a capacidade de armazenamento necessária para a barraginha e determine as dimensões geométricas ideais. Encontra-se disponível no site <https://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>.

(ii) HidroTerraço 1.0

É um programa de computador desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri) (BACK, A. J; WILDNER, L. P., 2022) com o objetivo de realizar cálculos hidrológicos e o dimensionamento de estruturas de conservação do solo e da água em áreas agrícolas. Este programa foi criado para atender a necessidade de técnicas precisas de manejo hídrico e conservação, com foco no controle da erosão hídrica, terraceamento e drenagem agrícola.

Além disso, o HidroTerraço utiliza modelos hidrológicos, como a equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF), métodos de cálculo de tempo de concentração, e outros modelos que simulam as condições hidrológicas das áreas agrícolas. Assim, o programa auxilia no desenvolvimento de práticas eficientes de conservação da água e mitigação dos impactos da erosão, promovendo a sustentabilidade agrícola.

A publicação oficial da Epagri sobre o uso do *software* se encontra em <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/DOC/article/view/1508> e se encontra disponível para *download* em <https://docweb.epagri.sc.gov.br/pub/HidroTerraco.zip>. O programa funciona na plataforma *Windows* e não requer instalação, apenas que se mantenha a estrutura das pastas.

2.2.2 Tipos de erosão

A erosão do solo é influenciada por suas propriedades físicas, químicas, biológicas e mineralógicas. Solos de textura arenosa, por serem mais porosos, permitem maior infiltração de água, enquanto solos com estrutura granular, como os latossolos, possuem alta permeabilidade e maior resistência ao arraste de partículas devido à agregação entre as partículas. A matéria orgânica também desempenha um papel importante ao aumentar a coesão e a estabilidade do solo. Além disso, solos rasos são mais suscetíveis à erosão, pois saturam rapidamente, favorecendo a formação de enxurradas.

(a) Laminar

A erosão laminar ocorre quando a água da chuva escoar de forma uniforme sobre a superfície do solo, removendo finas camadas de terra de maneira contínua e espalhada. Esse processo é inicialmente difícil de perceber, mas ao longo do tempo pode levar a grandes perdas de solo, prejudicando a fertilidade e a estrutura superficial do terreno. Esse tipo de erosão pode afetar grandes áreas, especialmente em encostas, durante chuvas intensas, chegando a impactar até dois terços de uma bacia de drenagem. A perda de água e solo é relativamente homogênea, com pouca ou nenhuma formação de canais visíveis. Fotos dos tipos de erosão podem ser vistas no Volume 6 - Manual de Práticas Edáficas para Conservação de Solos e Recursos Hídricos.

(b) Linear/sulcos

A erosão linear (em sulcos) ocorre quando o escoamento da água se concentra em pequenos canais, formando sulcos ou ravinas visíveis no terreno. Esses canais podem variar em profundidade e largura, dependendo da intensidade do fluxo de água e da vulnerabilidade do solo. Normalmente acontece quando a água da chuva se acumula em linhas naturais do terreno, como pequenos riachos ou vales (talvegue). O processo de erosão linear geralmente começa com erosão em sulcos, que são pequenos canais que se formam no solo. Se não controlados, esses sulcos podem evoluir para ravinas (canais mais profundos) e, eventualmente, para voçorocas, onde a erosão compromete grandes áreas de terra e destrói a vegetação.

2.2.3 Uso e ocupação do solo

Quando a água não infiltra gradualmente ao longo do terreno, as áreas localizadas a montante (parte altas) acabam contribuindo com elevados volumes de escoamento de água superficial, sobrecarregando a drenagem da bacia hidrográfica, elevando o volume dos cursos de água e aumentando os riscos de alagamentos, enchentes e deslizamentos nas áreas a jusante (parte baixas).

(a) Áreas de pastagem

Eventualmente ocupam grandes áreas que captam elevados volumes de chuva e, mesmo quando bem manejadas, estão sujeitas a precipitações intensas, que geram elevados fluxos de escoamento superficial. Estes processos podem ser agravados pelo mal manejo, superpastejo e com a lotação máxima excedida, que por sua vez intensificam a compactação, a perda da cobertura vegetal e o aumento da área de solo exposto.

(b) Áreas de lavoura

O solo exposto, os acessos e os caminhos internos eventualmente contribuem para a elevação do fluxo de água e de sedimentos durante o período chuvoso. Além disso, os resíduos de nutrientes e agrotóxicos são conduzidos para as partes mais baixas do terreno podendo atingir os cursos de água ou contaminar outras lavouras. Estas áreas normalmente possuem maiores limitações para a implementação das práticas em função da necessidade de ocupação do solo para a atividade agrícola, estando disponíveis para uso somente as áreas marginais, com exceção das caixas secas e dos processos de subsolagem, escarificação e alguns tipos de terraço. Daí a importância das práticas mecânicas nas áreas mais altas e caminhos preferenciais da água.

2.2.4 Aspectos edafoclimáticos gerais

(a) Infiltração da água no solo

A taxa de infiltração da água é a velocidade com que a água superficial penetra na camada superior do solo, geralmente expressa em milímetros por hora (mm/h). Quando a infiltração é lenta, há maior risco de escoamento superficial e conseqüentemente de erosão do solo. A taxa de infiltração de água no solo é influenciada por diversos fatores, incluindo as características físicas do solo, como textura, estrutura e presença de matéria orgânica, onde solos arenosos infiltram mais rápido que os argilosos. Destaca-se ainda o teor de umidade, uma vez que a velocidade de infiltração diminui à medida que o teor de umidade aumenta, até o solo saturar-se e a velocidade passar a depender de barreiras à infiltração, abaixo da superfície do solo. A cobertura vegetal protege a estrutura do solo, promovendo uma infiltração mais eficiente, enquanto solos descobertos ou compactados reduzem essa taxa. A inclinação do terreno e práticas de manejo, como o uso inadequado da terra ou técnicas conservacionistas, também afetam significativamente a infiltração.

(b) Lençol freático elevado

Se o lençol freático estiver muito próximo da superfície, a capacidade do solo de infiltrar mais água é reduzida, pois ele já estará saturado. Nesse caso, a água das chuvas não terá onde ser absorvida e poderá causar alagamentos, transbordamento das estruturas e causar erosão em áreas adjacentes. Nestes casos, a saturação rápida do solo provoca a erosão de sua camada superior com um risco aumentado de colapso, comprometendo as estruturas e a sua durabilidade.

(c) Textura e permeabilidade do solo

Solos arenosos tendem a infiltrar a água rapidamente, enquanto solos argilosos retêm mais água com menor velocidade de infiltração (especialmente em situações de horizonte B textural). Barraginhas, caixas secas e terraços são particularmente eficazes em solos porosos, profundos e bem drenados, tal como os Latossolos Vermelhos e Amarelos. Solos com textura Muito Argilosa e com horizonte B textural devem ser evitados para a função de infiltração de água, como ocorre nos Argissolos e Luvisolos, mas que também podem ocorrer em Chernossolos (Argilúvico). A presença de compactação pode limitar a eficiência da infiltração de água, sendo necessário adotar estratégias complementares tal como a remoção dessas camadas superficiais (proceder a uma escarificação ou subsolagem) antes da implantação de barraginhas, terraços de infiltração e curvas de nível com cochinchos. Em algumas áreas, podem existir camadas compactadas naturalmente, como as soleiras de argila ou fragipãs e duripãs. Estas duas últimas, são encontradas em profundidade maior que 80 cm em depressões dos platôs litorâneos do nordeste brasileiro, onde predominam Latossolos e Argissolos, aparecendo também nos Espodosolos. Estas camadas constituem horizontes endurecidos e são bastante impermeáveis

e, se localizadas a pouca profundidade, podem comprometer a funcionalidade das práticas que visam promover a infiltração da água.

(d) Presença de rochas

De maneira geral, as práticas mecânicas podem ter sua eficiência comprometida pela presença de "lajes" de pedra e em locais muito rochosos, prejudicando o processo de infiltração da água e dificultando o processo de construção. A Formação Barreiras que compõem as falésias do litoral brasileiro, do norte do estado do Rio de Janeiro ao sul do Amapá, são áreas que podem estar associadas a camadas de solos com horizontes endurecidos (duripãs). Em áreas com rochas fraturadas, a infiltração de água também pode ser facilitada, pois as fraturas servem como canais preferenciais para a percolação de água, permitindo que a barraginha e terraços de infiltração causem um efeito prolongado na recarga do lençol freático e dos aquíferos.

(e) Declividade

É fundamental considerar, que a intensidade erosiva sempre irá aumentar de acordo com o aumento da declividade (inclinação) e em função do comprimento da encosta. Nas áreas de maior declividade e com presença de solos mais frágeis, recomenda-se intensificar o manejo associado às práticas mecânicas, para evitar possíveis colapsos das estruturas instaladas. Cada situação deve ser avaliada de forma criteriosa e integrada que envolva a declividade, o tipo de solo e o uso e manejo adotados.

2.2.5 Fatores de sustentabilidade das práticas

Combinar diferentes práticas mecânicas para combater a erosão é essencial, mas elas apenas se constituem em solução para remediar problemas, sem atingir as causas que estão associadas, principalmente ao manejo inadequado do solo. O sucesso dessas práticas depende de adotá-las junto com boas práticas agropecuárias, que são protagonizadas por práticas vegetativas e edáficas de conservação do solo. Por isso, é primordial que os produtores e os parceiros dos projetos do Programa Produtor de Água, recebam treinamento sobre sustentabilidade no manejo de solo e água.

As possibilidades de combinação entre as práticas mecânicas, vegetativas e edáficas são diversas. Porém, sendo as práticas mecânicas intervenções que removem a cobertura, deixando o solo exposto, é fundamental plantar espécies rústicas, como algumas gramíneas ou de coquetéis de adubação verde para proporcionar uma rápida e eficaz cobertura vegetal.

As bordas de barraginhas, terraços e caixas secas, devem ser priorizadas na aplicação do calcário e no plantio de sementes, favorecendo a recuperação deste solo exposto e acelerando a formação de raízes e estabilização da estrutura. Uma consideração importante é de que, em situações em que as estruturas de controle de erosão não estejam em áreas de pastagem, devem ser priorizadas as espécies que não possuem potencial invasivo, ou seja, tornarem-se plantas invasoras, como é o caso das gramíneas africanas. Para maiores informações sobre o uso de plantas de cobertura e manejo do solo, os Manuais de Práticas Vegetativas para Conservação de Solos e Recursos Hídricos e de Práticas Edáficas para Conservação de Solos e Recursos Hídricos elaborados pela ANA, poderão ser consultados.

2.2.6 Recomendações e custos de máquinas e equipamentos

De maneira geral, máquinas pesadas, particularmente em situações de solo muito úmido, podem causar compactação excessiva, reduzindo a capacidade de infiltração do solo. Além disso, o uso de máquinas sem o devido treinamento dos operadores pode resultar em falhas na construção e em danos ambientais. Máquinas pesadas possuem a vantagem da potência, o que pode resultar em ganho de tempo

na execução das práticas, mas de modo geral, representam um custo mais elevado e exigem operadores mais treinados, tornando-se um fator limitante. Exemplos de máquinas pesadas são o trator de esteira, a motoniveladora, a pá carregadeira, a escavadeira hidráulica e alguns modelos de retroescavadeira.

As máquinas das categorias mini são equipamentos versáteis e essenciais para diversas atividades da construção civil e obras de geotecnia, sendo muito úteis em pequenas propriedades, áreas com acesso dificultado e espaço limitado. A estes maquinários podem ser acoplados diversos tipos de implementos menores, tal como subsoladores, lâminas diversas, caçamba angulável, caçambas de limpeza, escarificador, destroncadores, roçadeiras, entre outros. Apresentam muito potencial de uso para as práticas de conservação do solo, apesar de sua utilização ainda incipiente em projetos de caráter agrícola e ambiental.

(a) Zonas de segurança durante a movimentação de solo

Durante a escavação, é importante manter uma distância de segurança ao redor do perímetro da barragem, especialmente em áreas instáveis ou de solo solto. Equipamentos e pessoal devem ser mantidos longe de bordas que possam ceder. É recomendável que a comunicação entre o técnico e operador da máquina, durante a construção da barragem, seja através de rádio. A área deve ser sinalizada com cones.

Apresenta-se na Tabela 1 o rendimento operacional das máquinas e equipamentos utilizados para a execução das práticas propostas.

Tabela 1 - Máquinas e equipamentos utilizados para a execução das práticas propostas apresentando a potência (HP), o custo (R\$/hora) e as atividades executadas e seu respectivo rendimento¹.

Máquina	Potência (HP)	Custo (R\$/hora)		Atividade	Rendimento (Portal Engenharia – não publicado)
		Consulta Online	DNIT		
Trator de esteira	265	R\$ 182,19	R\$ 180,00 - R\$ 220,00	Construção de murundu (em lavoura)	120 m/h
				Construção de barraginhas	2 h/unid
				Construção de lombada (em estradas)	0,7 h/unid
				Construção de bigodes	30 m/h
Mini escavadeira	23	R\$ 90 - R\$ 380	R\$ 90,00 - R\$ 150,00	Construção de murundu (em lavoura)	45 m/h
				Construção de barraginhas	3,5 h/ unid
				Construção de bigodes	15 m/h
				Construção de lombada (em estradas)	0,75 h/unid
				Construção de caixa seca	0,9 h/ unid
Motoniveladora (Patrola)	125	R\$ 182,19	R\$ 200,00 - R\$ 250,00	Construção de terraços	90 m/h
				Conformação de plataforma de estradas ruais vicinais	110 m/h
				Construção de sarjeta	80 m/h
				Construção de bigodes	25 m/h
				Reconformação de taludes	70 m/h
Pá carregadeira	151	R\$ 121,46	R\$ 120,00 - R\$ 170,00	Construção de murundu (em lavoura)	50 m/h
				Construção de barraginhas	2,5 h/unid
				Construção de lombada (em estradas)	0,65 h/unid
				Construção de bigodes	25 m/h
				Outros (definir)	

1 Fontes: ARMAC, 2023; BRASIL, 2023; BRASMETAL, 2023; OPERACTION, 2023; ORÇAMENTOR SINAPI; SOBRATEMA, 2023; VIVENDO BAURU, 2021

Máquina	Potência (HP)	Custo (R\$/hora)		Atividade	Rendimento (Portal Engenharia – não publicado)
		Consulta Online	DNIT		
Rolo pé de carneiro	130	R\$ 145 - R\$ 200	R\$ 150,00 - R\$ 200,00	Compactação de subleito em estradas rurais vicinais	250 m ² /h
				Compactação de revestimento primário (solo brita ou cascalho) em estradas rurais vicinais	40 m ³ /h
Rolo compactador liso	130	R\$ 140 - R\$ 220	R\$ 140,00 - R\$ 220,00	Compactação de subleito em estradas rurais vicinais	300 m ² /h
				Compactação de revestimento primário (solo brita ou cascalho) em estradas rurais vicinais	45m ³ /h
Trator de pneu	97	R\$ 200	R\$ 200	Construção de terraços	70 m/h
				Escarificação	700 m ² /h
				Gradagem	1000m ² /h
Retroescavadeira	97	R\$ 150 - R\$ 200	R\$ 150 - R\$ 199	Construção de caixas secas	0,8h/unid
				Construção de sarjetas	25 m/h
				Construção de barraginhas	2,5 - 3h/unid
				Construção de drenos	18 m/h
				Construção de valetas de drenagem (de crista de corte, de pé de talude)	25 m/h
Escavadeira hidráulica	156	R\$ 194,34	R\$ 190,00 - R\$ 250,00	Construção de caixas secas	0,25h/unid
				Construção de sarjetas	50 m/h
				Construção de barraginhas	1,1h/unid
				Construção de drenos	40 m/h
				Construção de valetas de drenagem (de crista de corte, de pé de talude)	45m/h
Compactador pneumático manual	6,5	R\$ 33,23	R\$ 33,00 - R\$ 50,00	Compactação de taludes	2m ³ /h
				Compactação de leitos estradais	10m ² /h
				Compactação de berço de bueiros	8 m ² /h

3 PRÁTICAS MECÂNICAS DE CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

Apresenta-se no presente capítulo o detalhamento das principais práticas mecânicas de controle da erosão comumente utilizadas e com potencial de adoção no Programa Produtor de Água.

3.1 Barraginha

3.1.1 Conceito

São estruturas cuja função principal é captação das enxurradas das chuvas e a contenção do fluxo do escoamento superficial, causando sua retenção em pequeno reservatório de água que irá infiltrar no solo e sedimentar os sólidos em suspensão. São escavadas no solo com as bordas em rampa suave e com um barramento (parede), possuindo uma entrada para o fluxo canalizado e uma saída para o excedente (extravasor ou "ladrão"). **NOTA:** Tendo em vista o adensamento do talude (em torno de 20%) após a construção, recomenda-se que o extravasor tenha um metro de profundidade em relação à crista para garantir uma profundidade futura de 0,8 m (Foto 1).



Foto 1 - Barraginha com detalhe do extravasor ou "ladrão"
Lucyan V. Listo/Projeto Barraginhas

3.1.2 Objetivo

Sua função principal é captação e contenção do escoamento superficial da água das chuvas (enxurradas), entretanto, as barraginhas podem ter três objetivos principais: (i) contenção, dissipação do fluxo superficial e controle de erosão; (ii) aumento da infiltração da água no solo; (iii) retenção de sedimentos. Na Foto 2 visualizam-se as barraginhas em período de estiagem e na Foto 3 as mesmas barraginhas retendo a água no período de chuvas. O uso para a **contenção** e **dissipação** do fluxo da água e do carreamento de sedimentos é uma estratégia de **controle** de processos erosivos e diminuição dos danos causados pela força e velocidade do arraste da água, que podem intensificar processos erosivos, assorear e contaminar os cursos d'água e até causar enchentes e alagamentos.



Foto 2 - Barraginhas no período de estiagem
Márcio Menon/Projeto Barraginhas



Foto 3 - Barraginhas retendo a água no período de chuva
Márcio Menon/Projeto Barraginhas

3.1.3 Vantagens:

- solução sustentável de baixo custo e replicável em diversas áreas, promovendo a inclusão social e o aumento da umidade no perfil do solo;
- baixa complexidade de execução e manutenção;
- controle da erosão do solo;
- controle da velocidade de escoamento superficial da água;
- proteção de áreas contra enxurradas e potencial para diminuição de picos de cheias;
- quando bem dimensionadas e posicionadas, podem reduzir o assoreamento de corpos hídricos;
- contribuição para a recarga do lençol freático e dos aquíferos, tornando-se um potencial recurso para a recuperação de nascentes (afloramentos);
- aumento da disponibilidade de água no solo na área do entorno da estrutura, atuando como estratégia para os períodos de seca e possibilitando maior produtividade agrícola;
- podem ser utilizadas como captação e reservatório de água temporário e quando integradas com lagos de uso múltiplo e cisternas, possibilitam a piscicultura e a irrigação;
- podem ter uma função complementar aos bebedouros para o rebanho durante os períodos de chuva, apesar da baixa qualidade da água e dos riscos de contaminação.

3.1.4 Desvantagens:

- em locais sujeitos a fortes enxurradas, é necessário construir barraginhas maiores ou integrar com mais barraginhas, terraços ou outras tecnologias de dissipação;
- dependem de maquinário pesado para sua execução, limitando sua construção em locais com vegetação densa e de difícil acesso, como topos de morro e locais pedregosos;
- sua eficácia e continuidade de adoção como prática conservacionista, está relacionada com treinamento adequado para os agricultores, na construção e manutenção dessas estruturas;
- manutenção periódica a cada dois e até no máximo cinco anos, dependendo das condições locais, evitando a sobrecarga e o acúmulo de sedimentos, que podem reduzir a profundidade efetiva e a taxa de infiltração;
- não é adequada para terrenos declivosos, acidentados e rochosos;
- não cumpre adequadamente a função de infiltração da água em solos com textura muito argilosa e em solos onde ocorre o horizonte B textural (Ex.: Argissolos e Luvisolos);
- solos expostos a diferentes condições de tempo e clima podem apresentar variações nas taxas de infiltração, influenciando o desempenho das barraginhas.

3.1.5 Planejamento e projeto

Apesar da simplicidade de sua construção, exigindo maquinários mais simples e custo acessível, a análise de campo, estudos pedológicos, hidrológicos e hidráulicos, bem como a regularização junto aos órgãos ambientais (quando for o caso) são necessários e indispensáveis para o sucesso da execução, principalmente quando o objetivo é intervir na paisagem utilizando diversas barraginhas.

(a) Desenho e dimensionamento

As barraginhas podem ter formato de círculo (Foto 4) ou semicírculo (Foto 5) em formato de bacia (côncava), mais adequado para terrenos planos e pouco declivosos, ou ter formato retangular ou trapezoidal, oferecendo condições de execução em terrenos um pouco mais declivosos.



Foto 4 - Barraginha circular contendo a enxurrada proveniente de estrada rural vicinal.
Márcio Menon



Foto 5 - Barragem em formato de meia lua
Márcio Menon

O diâmetro médio é de 16 metros a 18 m e, por questões de segurança, no âmbito do Programa Produtor de Água, a lâmina d'água máxima é de 1,5 m, podendo ser construídas também em tamanhos menores de modo artesanal para locais com menores espaços.

(b) Aplicabilidade e adequabilidade

São particularmente eficientes quando distribuídas em áreas de pastagem e/ou ao longo das margens de estradas rurais vicinais, caminhos internos e lavouras. Para a construção em outros locais, os critérios de declividade, tipo de solo e manejo do sistema de produção devem ser considerados.

As barragens são eficazes no controle de erosão linear em estágios iniciais (sulcos pequenos), sendo inadequadas para estágios avançados, como ravinas ou voçorocas, onde estratégias integradas e técnicas mais robustas são necessárias. Nessas situações, devem ser instaladas nas áreas mais altas (montante), acima do início dos processos erosivos, podendo ser integradas a terraços ou barragens menores e em série para reduzir a intensificação do fluxo concentrado.

(c) Condicionantes edafoclimáticas

(i) Textura e permeabilidade do solo

São mais eficazes em solos porosos, profundos e bem drenados, como Latossolos Vermelhos e Amarelos. É sempre importante considerar que a taxa de infiltração da água é maior em solos de textura arenosas do que os de textura argilosa. Solos compactados, com horizontes endurecidos ou textura muito argilosa, devem ser evitados, pois limitam a infiltração. Nestes casos, recomenda-se construir barragens maiores (20 m de diâmetro, até 300 m³) ou em série. Nos Neossolos Quartzarênicos, sua construção pode ser inviabilizada em função de sua característica de baixa coesão necessária à compactação e estruturação das bordas.

(ii) Velocidade de Infiltração Básica (VIB)

Sempre que possível, para dimensionar barragens de infiltração de água no solo e antes de decidir o local de construção, deve-se proceder a uma avaliação deste componente na profundidade em que ficará a base da estrutura. Deve-se tomar em conta que valores abaixo de 5 mm/hora são considerados muito lentos e representam uma baixa taxa de infiltração superficial.

(iii) Declividade

Não devem ser construídas em declividades acima de 12%. Em áreas com até 20% de inclinação, podem ser usadas em formato retangular, mais estreitas e dispostas em série. Entretanto, estas apresentam maior risco de colapso, exigindo planejamento e análise detalhada do local e mais manutenções. A integração de terraços e barraginhas é fundamental para mitigar o impacto do escoamento em terrenos declivosos, como nas curvas de nível com cochinhos (vide **Item 3.2.6 deste manual**).

(iv) Precipitação pluviométrica

Barraginhas de infiltração são indicadas para regiões com precipitações entre 500 e 1.800 mm anuais, tendendo a serem mais eficientes em condições acima de 800 mm. Em áreas com mais de 1.800 mm, há maior risco de rompimento dos barramentos e perda de profundidade por deposição de sedimentos, exigindo estruturas maiores e em maior quantidade, com maior complexidade no dimensionamento (BRITO et al., 2019).

(v) Lençol freático elevado

Em áreas com lençol freático raso, especialmente na época chuvosa, a infiltração do solo é limitada, aumentando o risco de colapso e transbordamento. Nessas situações, é preferível adotar outras práticas, mas, se necessário, pode-se reduzir a profundidade da barraginha, aumentar o diâmetro e integrá-la a estruturas em série.

(d) Avaliação da área e seleção do local de implantação

A experiência e a análise visual (observação direta) de quem planeja são essenciais na escolha do local, complementadas pelos fatores edafoclimáticos previamente destacados.

(i) Observação e análise visual

A primeira etapa é identificar as áreas de enxurradas e escoamento superficial. As barraginhas devem ser instaladas ao longo dessas rotas, onde a água escoar mais rápido, para maximizar a infiltração. O talvegue é uma referência útil para localizar os pontos de concentração. O talvegue pode ser compreendido como o ponto de maior concavidade entre as curvas de nível, manifesta-se na paisagem como a linha natural de drenagem, formando as linhas mais baixas dos vales por onde a água escoar naturalmente e onde se formam os cursos d'água (Foto 6).



Foto 6 - Barraginhas em série no talvegue de uma drenagem natural do terreno
Lucyan V. Listo/Projeto Barraginhas

Os talwegues, com relevos côncavos e os espigões, com relevos convexos, são elementos essenciais para entender a topografia e a hidrologia da paisagem. Relevos côncavos, tal como o interior de uma colher, acumulam água, enquanto relevos convexos, semelhantes ao verso de uma colher, favorecem o escoamento. Os espigões são os cumes, as partes mais altas que atuam como divisores de águas em bacias hidrográficas e que direcionam água do fluxo da chuva irá escoar. Essa analogia ajuda a visualizar como o formato do terreno influencia o movimento da água (Foto 7).



Foto 7 - Faces de uma colher exemplificando relevos côncavos e convexos recebendo água.
Fernando Moura Antunes

(ii) Locais recomendados:

- margens de estradas e caminhos internos da propriedade - acoplados às saídas de água, como os bigodes, posicionadas para conter enxurradas e evitar o deságue direto no solo;
- áreas de cultivo agrícola e de pastagens - distribuídas estrategicamente de modo a conter a erosão e aumentar os níveis de umidade no solo;
- topos de morro (que não sejam APP) - devem ser posicionadas nas partes altas, anterior ao limite onde o terreno tende a ficar mais inclinado e onde a água começa a escorrer;
- em locais de difícil acesso ou com falta de recursos para máquinas - podem ser construídas manualmente com tamanhos menores em quintais, pomares etc.

(iii) Locais não recomendados:

- ao longo de cursos hídricos - áreas protegidas por lei que não proporcionam o funcionamento adequado destas estruturas;
- em grotas em "V" - drenagens com barrancos profundos e com inclinação elevada;
- interior de voçorocas e ravinas - estágios com profundidade superior a 0,5 m;
- declividade - inclinação superior a 12 e 15%.

(e) Diferentes localizações

(i) Áreas se lavoura

Geralmente instaladas nas margens de cultivos e acessos, as barraginhas ajudam a conservar o solo, manter a umidade e proteger os cultivos de enxurradas. Um exemplo bem-sucedido para conter água e sedimentos, é o uso em lavouras de café em áreas declivosas no Espírito Santo (Foto 8).



Foto 8 - Destaque de barraginhas em áreas de lavoura e café.
Lucyan V. Listo

(ii) Áreas de pastagem

São particularmente eficientes quando distribuídas nas áreas de pastagem (Foto 9), prevenindo sua degradação, conservando o solo e mantendo a umidade. Havendo processos erosivos ou em ações preventivas, estas devem ser instaladas nos pontos de concentração de enxurradas ao longo do talvegue.



Foto 9 - Terraços e barraginhas em áreas de pastagem, Projeto Perobas - Produtor de Água.
Dirceu de Oliveira Costa

(iii) Junto a estradas rurais vicinais e caminhos

Junto às estradas a opção pela implantação de barraginhas depende de disponibilidade de espaço e exige autorização e diálogo com proprietários lindeiros. Podem ser construídas imediatamente após o local de deságue no interior das propriedades limítrofes (Foto 10).



Foto 10 - Barraginhas construídas ao longo de estrada rural vicinal.
Lucyan V. Listo - Atílio Vivacqua/ES/Projeto Barraginhas

As valetas, sarjetas, bueiros de greide e a plataforma da pista conduzem a água para as saídas d'água (p.ex. bigodes), que por sua vez irão desaguar nas caixas de retenção (barraginhas, caixas secas, dissipadores de energia etc.) (Foto 11).



Foto 11 - Barraginhas recolhendo águas da estrada através de bigodes.
Gustavo Mahé - Várzea da Palma/MG

(f) Fatores de sustentabilidade da prática

(i) Desenho e dimensionamento

O dimensionamento inadequado de barraginhas pode causar transbordamento e danos durante chuvas intensas. Para evitar esses problemas, é essencial calcular o volume máximo esperado e incluir um extravasor eficiente. Fatores como erodibilidade do solo, declividade, cobertura vegetal e características da microbacia devem ser considerados, pois influenciam o escoamento e a infiltração.

É crucial calcular o **Tempo de Retorno (TR)** da chuva, que se refere ao intervalo médio entre eventos hidrológicos de igual magnitude. Possibilita prever a probabilidade de ocorrência de chuvas mais severas em determinado período, auxiliando no dimensionamento da barraginha para suportar eventos extremos, evitando transbordamentos e rompimentos.

(ii) Fórmula de dimensionamento

Para o dimensionamento recomenda-se utilizar o *software* da Universidade Federal de Viçosa, Terraço 4.1 - Dimensionamento e manejo de sistemas de conservação de solos e drenagem de superfície, disponível para *download* em <https://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>.

(iii) Proteção vegetal

É recomendável fazer aplicação de calcário e realizar o plantio com sementes principalmente nas bordas da barragem. O reservatório fica cheio de água no período das chuvas, ficando eventualmente sem vegetação, onde espécies forrageiras adaptadas a umidade excessiva, tal como as braquiárias do brejo, das quais citam-se *Urochloa arrecta* & *U. mutica* (capim Angola, tangola) e *U. humidicola* (quicuío, capim agulhão, pontudinho) podem ser utilizadas.

(g) Máquinas e equipamentos

(i) Recomendados

A pá-carregadeira, disponível em alguns tratores, é ideal por seu menor custo e peso, reduzindo a compactação do solo. Escavadeiras de médio porte, retroescavadeiras e tratores com lâminas niveladoras também são eficazes, garantindo escavação rápida e precisa. A retroescavadeira é ideal para locais onde o terreno é mais compacto. O uso de escavadeiras hidráulicas, dotadas de esteiras, tem se mostrado muito veloz e eficaz, trabalhando em locais de difícil acesso.

(ii) Não recomendados

Tratores de esteira apesar da potência, versatilidade e de implicarem em um custo muito mais elevado, de modo geral causam compactação excessiva.

(h) Avaliação de impacto ambiental

Em áreas sensíveis, como terrenos inclinados ou solos erodíveis, pode ser necessário um estudo de impacto ambiental para garantir que a barragem traga benefícios sem causar danos. É essencial monitorar o uso sustentável da água captada, especialmente em regiões onde é utilizada para irrigação ou dessedentação animal, evitando riscos à saúde.

(i) Uso de geoprocessamento e modelagem hidrológica

A metodologia de alocação de barragens com modelagem hidrológica e geoprocessamento permite identificar áreas ideais para sua instalação, considerando o potencial risco de rompimento pelo escoamento superficial (HIPÓLITO et al., 2019). Com base no acúmulo de fluxo e na capacidade de armazenamento, é possível apontar áreas inviáveis e priorizar locais estratégicos para maximizar infiltração e reduzir erosão. Segundo Hipólito et al. (2019), no Boletim de Pesquisa da Embrapa, também identificaram barragens em áreas de risco que precisam de correção ou manutenção, aumentando a eficiência e segurança das práticas de conservação.

A ferramenta *Flow Accumulation* do QGIS, disponível gratuitamente, permite determinar direção e acúmulo de fluxo hídrico usando um Modelo Digital de Elevação (MDE). Com o cálculo de *Flow Direction* e correção de depressões, identifica linhas de drenagem e mapeia o fluxo, auxiliando estudos hidrológicos e decisões sobre manejo e instalação de barragens. Para avaliar riscos de rompimento, é necessário integrar dados meteorológicos, tipo de solo e um MDE com maior precisão na resolução espacial.

Quando as linhas de drenagem e fluxo hídrico não puderem ser obtidas por ferramentas, as curvas de nível podem auxiliar na definição preliminar dos locais para barragens. Como discutido em "Observação e Análise Visual," as curvas ajudam a identificar superfícies convexas (topos) e côncavas (drenagens). Este recurso é apenas um auxílio para otimizar o trabalho de campo, não para determinar o local definitivo.

Com o programa QGIS é possível obter as linhas de contornos altimétricos utilizando um MDE que tenha, de preferência, maior precisão na resolução espacial. Como estratégia complementar, este contorno altimétrico pode ser visualizado no *Google Earth* (em formato *shp* ou *kmz*) que apresenta uma visão da disposição da elevação na paisagem, que integrada com os contornos altimétricos, possibilita um excelente recurso auxiliar para os diagnósticos e navegação no campo.

(j) Custos associados

O custo para execução de uma barraginha será obtido a partir do cálculo do custo da máquina por hora, multiplicado pela quantidade de horas necessárias para executar a estrutura. Destaca-se que as barraginhas exigem manutenção, de forma recorrente, e estes custos devem estar previstos no planejamento e projeto. Para mais detalhes consultar a Tabela 1 – Máquinas e equipamentos utilizados para a execução das práticas propostas, apresentando a potência (hp), o custo (R\$/hora), as atividades executadas e seu respectivo rendimento.

De acordo com Barros (2013), nos solos da região do Cerrado, o custo de execução de uma unidade pode variar entre R\$ 120,00 e R\$ 180,00, levando cerca de uma hora (1 h) em solo macio e úmido, e uma hora e meia (1,5 h) em solo firme e seco. As barraginhas com volume de 200 a 500 metros cúbicos (maior dimensão) e em solos que são mais firmes, podem levar entre 2 e 3 horas de máquina para a sua construção.

De acordo com dados da Empresa Fortal Engenharia (2024 - não publicado), para a execução de uma barraginha de tamanho padrão (1,5 m de profundidade por 17 m de diâmetro), os tempos são:

- Mini escavadeira – três horas e meia (3,5 h).
- Escavadeira hidráulica – duas horas (2 h).
- Retroescavadeira – duas horas e meia (2,5 h).
- Pá carregadeira – duas horas e meia (2,5 h).

3.1.6 Aspectos da construção da barraginha

Deve-se considerar as condições de umidade do solo, evitando a estação mais seca do ano, pois o solo estará duro dificultando a escavação e a compactação eficiente do aterro. A construção deve começar após as duas primeiras chuvas da estação chuvosa, pois essas chuvas umedecem o solo, facilitando a escavação e compactação. A condição friável quanto à umidade do solo é a mais indicada para a construção². Durante o pico das chuvas, as obras devem ser interrompidas e retomadas nos períodos de estiagem. A construção pode continuar por 4 a 5 meses após o período chuvoso, aproveitando a umidade residual do solo.

(a) Passos para a construção da barraginha

Apresenta-se a seguir os passos principais para a construção de barraginha circular com o uso de escavadeira hidráulica, que são considerados os momentos de maior atenção para garantir um melhor resultado. Para a construção com o uso de outras máquinas (como o caso da pá carregadeira), os passos são os mesmos, apenas mudando a estratégia operacional do uso da máquina.

Passo 1: Escolha do local – Conforme anteriormente destacado, a primeira etapa é identificar as áreas onde ocorrem as enxurradas e o escoamento superficial de água da chuva. As barraginhas

2 Solo friável é um solo que se desfaz em pedaços menores quando submetido a uma pequena pressão ou carga: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/propriedades-do-solo#:~:text=%C3%89%20classificada%20em%20solta%2C%20macia,%2C%20muito%20dura%2C%20extremamente%20dura>

devem ser distribuídas ao longo das rotas dessas enxurradas, onde a água tem maior velocidade de escoamento, a fim de barrar e infiltrar o máximo possível de água.



Foto 12 – Imagem demonstrativa de inserção de barraginhas em rota de enxurrada.
Márcio Menon

Passo 2: Limpeza do local – A limpeza é feita estritamente na área que será ocupada pela barraginha (conforme o diâmetro previamente definido na fase de planejamento e projeto), para evitar movimentação desnecessária de terra e exposição do solo ao impacto de gota de chuva.

NOTA: O solo superficial (mais fértil e com banco de sementes), é colocado de lado, em “bota-espéra” e ao final, é utilizado como cobertura do talude de aterro, para auxiliar no estabelecimento da vegetação espontânea, que ajudará a proteger o talude.



Foto 13 – Imagem demonstrativa de ajuntamento do solo superficial em local de futura barraginha.
Márcio Menon

Passo 3: Fase inicial da construção – A máquina trabalha dando o formato estabelecido previamente (circular ou semicircular), trabalhando a partir do centro da futura barraginha (no caso de barraginha circular) e da borda no caso de barraginha semicircular.



Foto 14 – Imagem demonstrativa de delimitação e início da construção da barragem.
Márcio Menon

Passo 4: Fase intermediária – Nesta fase, o operador vai dando o formato final da barragem, ajustando os taludes internos e a profundidade estabelecida.



Foto 15 – Imagem demonstrativa de escavação da barragem.
Márcio Menon

Passo 5: Finalização – Além da conformação, os taludes internos devem ser devidamente compactados, o mesmo acontecendo com a crista da barragem que deverá ser compactada e conformada em forma de travesseiro.



Foto 16 – Imagem demonstrativa de acabamento da barragem.
Márcio Menon

(b) Instalação dos extravasores ou “ladrões”

A construção de extravasores nas bordas garante que o excesso de água seja conduzido de forma segura para evitar rompimentos, pois é fundamental que as barraginhas não transbordem. Se isso ocorrer com frequência, outra barraginha deve ser construída acima para captar o volume excedente.

NOTA: Conforme anteriormente destacado, tendo em vista o adensamento do talude (em torno de 20%) após a construção, recomenda-se que o extravasor tenha um metro de profundidade em relação à crista para garantir uma profundidade futura de 0,8 m que é o recomendado. Recomenda-se que, no caso de barraginhas construídas em série, os extravasores devem ser instalados em “zig-zague”, ou seja, em lados opostos em relação à próxima barraginha, para distribuir o escoamento sobre o terreno, evitando sua concentração e risco de formação de processos erosivos entre as barraginhas.

(c) Integração com outras práticas

Recomenda-se a instalação de pequenos terraços ou canais de contenção, para reduzir o volume de sedimentos transportados pela água até a barraginha. O uso de vegetação, preferencialmente com o plantio de sementes de capim ou adubação verde nas bordas das barraginhas, pode atuar como elemento estruturante.

(d) Proteção contra acidentes

Em áreas frequentadas por pessoas ou animais, recomenda-se cercar ou sinalizar a barraginha para evitar acidentes. A base do extravasor deve estar 1,5 m acima do fundo, limitando a profundidade máxima da água a 1,5 m para prevenir afogamentos. Nos primeiros meses, é ideal restringir o acesso do rebanho para evitar danos às bordas pelo pisoteio durante as chuvas. As barraginhas, em geral, não apresentam risco para animais adultos (Foto 17), mas estruturas maiores podem ser perigosas para bezerros e crianças.

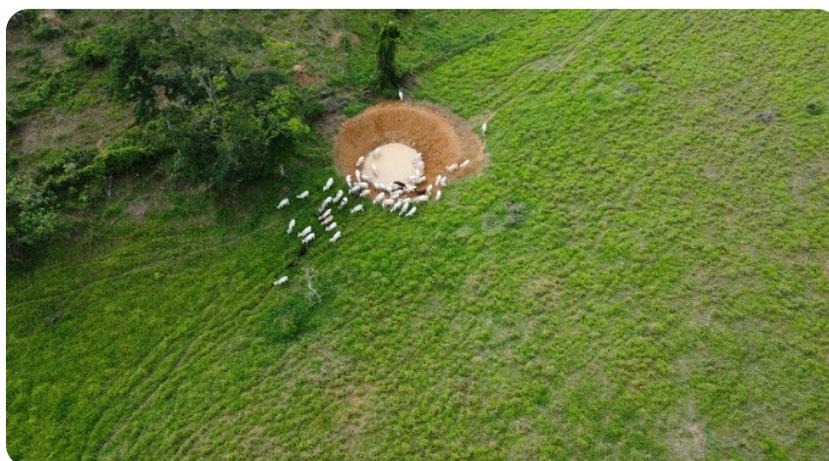


Foto 17 - Gado em barraginha para dessedentação – Projeto Barraginhas
Lucyan V. Listo

3.1.7 Manutenção

Após a construção, é necessário realizar inspeções regulares, especialmente após as primeiras chuvas, para verificar sinais de erosão ou acúmulo excessivo de sedimentos (Foto 18). Caso sejam identificados danos, como desmoronamento ou rachaduras nas bordas, os reparos devem ser feitos imediatamente para garantir a segurança e funcionalidade da barraginha. Pequenas manutenções, feitas com ferramentas manuais (pá, enxada e enxadão) para garantir o escoamento pelo extravasor e para estabilizar as bordas, podem aumentar a vida útil da barraginha, prevenindo colapsos.



Foto 18 - Barraginha em manutenção – Projeto de PSA – Ubá/MG.
Lauro Bassi

Passado um período que pode variar de 2 a 5 anos, dependendo das condições locais, da quantidade de sedimentos que entram e do volume de precipitação da região, é necessário aprofundar o reservatório com o uso de máquinas.

3.2 Terraceamento e Microterraceamento

3.2.1 Conceito e objetivos

O terraceamento é uma técnica milenar utilizada, tanto para a retenção da umidade e dos nutrientes, mas principalmente no combate a erosão hídrica do solo. Possuem a função de reduzir a velocidade do escoamento superficial da água, minimizando a erosão hídrica e promovendo a infiltração de água no solo (RESCK, 2002).

O uso do terraceamento proporciona reduções das perdas de solo em até 80% e a redução das perdas de água em até 100%. A eficácia da prática a coloca em posição privilegiada, quando se busca contenção, dissipação e controle da erosão, ao mesmo tempo que se promove uma infiltração maior, ou um escoamento superficial mais lento. São particularmente eficazes quando combinados com práticas edáficas e vegetativas, tal como a cobertura do solo, a calagem, rotação de culturas e os arranjos de cultivo em contorno. Embora o plantio direto com cobertura de palha aumente a infiltração de água e reduza a desagregação do solo, ele não elimina totalmente a necessidade de terraceamento, especialmente em chuvas intensas e terrenos inclinados (LAFEVOR, 2014; EMBRAPA, 2021). Existem dois principais tipos de terraços:

Terraços em nível ou de retenção: São construídos sem gradiente, o que permite a retenção total da água da chuva, promovendo sua infiltração. São indicados para solos de boa permeabilidade, como os Latossolos e Neossolos Quartzarênicos (RESCK, 2002; WADT, 2004) (Foto 19).

Terraços em desnível ou de escoamento: Possuem um gradiente leve, permitindo que a água escoe lentamente até áreas adjacentes, com a função de evitar a saturação excessiva do solo. São mais indicados para solos com baixa permeabilidade, como os Cambissolos e Argissolos (RESCK, 2002; WADT, 2004).

Terraço Tipo *Mangum*, em nível de base Média, no Projeto Terra das Águas no município de Formiga (MG) - Programa Produtor de Água da ANA.



Foto 19 - Terraço Tipo Mangum
Heytor Marcos Silva Pimenta

O **microterraceamento**, que é uma adaptação do terraceamento tradicional, vem sendo amplamente difundida pelo Incaper, do Espírito Santo, para a realidade de áreas de cultivo do café em regiões de relevo ondulado, a forte ondulado.

O microterraceamento consiste na construção de pequenos carregadores, ou miniestradas, entre as linhas, que podem ter entre 1,2 e 1,8 metros de largura, criando superfícies planas que permitem a entrada de tratores e outros implementos compactos (Foto 20).



Foto 20- Microterraceamento "miniestrada" entre as linhas dos cafeeiros
KROHLING et al, 2023

3.2.2 Planejamento e projeto

(a) Desenho e dimensionamento

O dimensionamento dos sistemas de terraços envolve definir o espaçamento e a seção transversal, essenciais para sua eficiência. Existem diferentes tipos de terraços, classificados conforme sua execução e finalidade, resumidos a seguir (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificações e tipos de terraços

Classificação	Descrição quanto ao declive	Referências
Em Nível ou Contorno	Projetados para reter água e facilitar sua infiltração, são construídos nas curvas de nível, com bordas bloqueadas, retendo enxurradas, recarregando aquíferos e reduzindo a erosão. Indicados para solos permeáveis, como Latossolos e Nitossolos.	GRIEBELER et al., 2005; ALI et al., 2011; LAFEVOR, 2014.
Em Gradiente	Construídos com um pequeno gradiente ou desnível transversal ao maior declive da rampa. Acumulam o excedente de água e permitem seu escoamento lento para fora da área protegida. Recomendados para solos de permeabilidade moderada ou lenta, como Cambissolos e Argissolos, onde a infiltração é dificultada.	ALI et al., 2008; ALI et al., 2011; PRETI et al., 2018.
Mistos	Combinam terraços em nível e gradiente, aumentando a eficiência no armazenamento de água e reduzindo custos de implementação e manutenção.	ALI et al., 2011; MUPENZI, et al., 2012.
Classificação	Descrição quanto ao tipo de construção	Referências
Tipo Nichols	Construídos com arado, movendo o solo de cima para baixo, formam um camalhão e retiram a faixa superior. Adequados para declives de até 15%, comuns em áreas com alta cobertura de palha.	WITTMUSS e SEIBEL, 1987; WADT, 2003.
Tipo Mangum	Desloca uma faixa de terra mais larga que o Nichols, movendo-a das faixas superior e inferior ao camalhão. Com canais mais rasos e largos, pode ser construído com arados ou terraceadores, sendo ideal para terrenos de menor declividade.	WADT, 2003
Classificação	Descrição conforme a largura da base	Referências
Base Larga	Adequados para solos arenosos e grandes propriedades, permitindo o cultivo em praticamente toda a sua superfície e facilitando a manutenção.	WADT, 2003; EMBRAPA, 2021.
Base Média	Indicados para pequenas e médias propriedades com maquinaria adequada, para declividades de até 15%.	WADT, 2003; EMBRAPA, 2021.
Base Estreita	Indicados para declividades acima de 12%, onde terraços de base média ou larga são inviáveis, comuns em pequenas propriedades com baixa mecanização.	WADT, 2003; EMBRAPA, 2021.

(b) Aplicabilidade e adequabilidade

O terraceamento, técnica eficaz na conservação do solo, retém água e nutrientes. Apesar dos altos custos, sua eficiência aumenta quando combinado com práticas como cobertura do solo e rotação de culturas. É recomendado para controlar erosão laminar e sulcos iniciais, mas não é adequado para estágios avançados, como ravinas e voçorocas, que exigem técnicas mais robustas.

(c) Condicionantes edafoclimáticas

(i) Textura e permeabilidade do solo

Os terraços devem ser adaptados ao solo para conservar água e evitar erosão. Solos arenosos exigem espaçamentos maiores e retenção, enquanto solos argilosos demandam espaçamentos menores e integração com outras estruturas para infiltração. A instalação correta depende da análise da textura e declividade do solo, sendo imprescindível que a **velocidade de infiltração de água no solo** seja avaliada para decidir o gradiente, largura e espaçamento:

- **Solos Arenosos (< 15% de Argila):** Em solos arenosos, como Neossolos, recomenda-se terraços de base larga e nivelados para reter e infiltrar água, reduzindo a erosão superficial e conservando a água, já que esses solos têm alta infiltração, mas baixa coesão.

- **Solos de Textura Média (15% a 35% de Argila) e Solos Argilosos (> 35% de Argila):** Em solos argilosos, é essencial avaliar a velocidade de infiltração para decidir entre terraços em nível ou desnível, definindo então largura e espaçamento. Com menor infiltração e maior propensão à saturação, recomenda-se terraços de base larga.

(ii) Declividade

Os tipos de terraço variam conforme base e espaçamento para diferentes declividades. Em geral, evita-se declividades acima de 30%. Terraços de base larga são indicados para baixas declividades, reduzindo a largura conforme a declividade aumenta. Em áreas moderadas a muito inclinadas, práticas de drenagem alternativa nas partes altas deve reduzir o volume para os terraços.

(iii) Precipitação pluviométrica, lençol freático e pedregosidade

Recomendados para todas as precipitações, desde que dimensionados conforme solo e pluviosidade. Em áreas com lençol freático raso, a infiltração é limitada, aumentando o risco de transbordamento, exigindo práticas alternativas. Em terrenos pedregosos, o terraceamento pode ser inviável.

(iv) Velocidade de Infiltração de Água no Solo

A Velocidade de Infiltração Básica (VIB) é crucial para dimensionar terraços, determinando seu espaçamento. Medida com infiltrômetro, maior VIB permite espaçamentos maiores.

(d) Avaliação da área e seleção do local de implantação

O primeiro passo no terraceamento é diagnosticar as condições ambientais e de manejo da gleba, identificando as características do terreno e solo para um planejamento eficiente. O diagnóstico inclui inspeção detalhada e coleta de dados essenciais, descritos a seguir.

- Identifique sinais de escoamento superficial por meio de análise de campo, imagens de satélite (*Google Earth*, GIS) ou *drone*. Esses sinais incluem marcas no solo, restos culturais ou sedimentos deslocados, indicando erosão laminar, sulcos ou voçorocas, com atenção especial às depressões naturais (talwegues).
- Observar as formas de uso e o manejo do solo na área, buscando verificar a presença de camadas compactadas ou adensadas.
- Verifique a entrada de água de áreas vizinhas, especialmente em drenos conhecidos como "valos", que frequentemente canalizam enxurradas para a lavoura.
- Analisar o sentido da drenagem das estradas e caminhos internos da propriedade.
- Observar a posição e direção da declividade do terreno e o comprimento dos declives.

(e) Diferentes localizações

(i) Em áreas de lavoura

Recomendado para lavouras de grãos e culturas anuais, particularmente para as regiões do Cerrado brasileiro, que apresentam altas taxas de erosão hídrica. Nos sistemas de plantio direto, onde o solo pode ser protegido pela palhada, o terraceamento ainda se faz necessário para reduzir a enxurrada, especialmente em áreas de declividade moderada a alta (Foto 21 - Lavoura de trigo com sistema de terraços, em 26/09/2016 em Passo Fundo, RS)³.

3 <https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/3351001/lavoura-com-sistema-de-terraços>



Foto 21 - Unidade: Embrapa Trigo - Publicação: 09/11/2016
L. H. Magnante

(ii) Em áreas de pastagem

Prevenir a degradação da pastagem, conservando os níveis de umidade e prevenindo o avanço de processos erosivos (Foto 22).



Foto 22 - Terraços em pastagem - Projeto Terra das Águas – Formiga/MG - Programa Produtor de Água da ANA.
Heytor Marcos Silva Pimenta

(f) Fatores de sustentabilidade da prática

O plantio de espécies como as leguminosas e outras úteis para a adubação verde devem ser consideradas, formando arranjos de cordões protetores para a borda do terraço (Foto 23).



Foto 23 - Feijão gandu como estratégia para cobertura e recuperação do solo exposto após a execução de terraço, plantado na margem inferior, município de Atilio Vivácqua/ES.
Márcio Menon

(g) Equipamentos recomendados

O uso de trator de pneus com arado de discos, motoniveladora (patrola) e trator de esteiras é recomendado, com integração de equipamentos para maior eficiência. A motoniveladora e o trator de esteiras oferecem melhor rendimento e a motoniveladora proporciona acabamento superior ao arado de discos. Apesar da construção simples e custo acessível, estudos pedológicos, hidrológicos, hidráulicos e regularização ambiental são indispensáveis. No tópico a seguir, destacam-se estratégias do boletim técnico da Epagri-SC (BASSANI, 2023).

(h) Espaçamento entre terraços

A etapa mais importante no dimensionamento de terraços é a correta mensuração do seu espaçamento. O espaçamento é a distância entre um terraço e outro, sendo de dois tipos: vertical ou horizontal.

- **Espaçamento vertical (EV)** - O espaçamento vertical entre terraços é a diferença de nível, medida em metros, ou a distância entre dois planos horizontais que os atravessam.
- **Espaçamento Horizontal (EH)** - O espaçamento horizontal é a distância em linha reta, em metros, entre terraços ou entre dois planos verticais que os atravessam.

O espaçamento deve considerar (i) suscetibilidade à erosão, (ii) infiltração de água no solo, (iii) declividade, (iv) comprimento das vertentes e (v) o sistema de produção, incluindo tipo de cultura e manejo. No dimensionamento de terraços, dois fatores principais são analisados:

- Os espaços entre os terraços estabelecidos rigorosamente de acordo com a declividade da área, de forma a se evitar super, ou subdimensionamento dessas distâncias.
- As secções mínimas dos terraços estabelecidas em função da velocidade de infiltração da água no solo, intensidade máxima provável de chuvas e volume de água a ser captado, inclusive da drenagem das estradas.

O espaçamento entre terraços é calculado em função da capacidade de infiltração de água no solo, da resistência que o solo oferece à erosão e do seu uso e manejo. Nos terraços em nível, as variáveis utilizadas para o cálculo são:

- a chuva máxima acumulada num período de 24 horas, em mm, para um tempo de retorno de 10 anos;
- o coeficiente de escoamento;
- a área de coleta de chuva (distância entre dois terraços adjacentes multiplicada pelo comprimento linear de terraço) e
- o formato do canal (trapezoidal, parabólico etc.).

O espaçamento entre terraços foi definido por diferentes metodologias ao longo dos anos, destacando-se o método de *Bentley* (EMBRAPA, 1980, apud Oliveira et al., 1992), desenvolvido para os EUA, mas com limitações no contexto brasileiro, como menor controle de erosão e eficiência hídrica. Em resposta, Lombardi Neto propôs uma metodologia mais adequada às condições brasileiras, reduzindo custos em até 35% comparado a *Bentley* (GRIEBELER & CARVALHO; MATOS, 2000).

O método de *Bentley* simplifica o cálculo ao converter a Equivalência Vertical (EV) em Horizontal (EH) com base na declividade, mas desconsidera variabilidades locais, como solo e clima. Já o método de Lombardi Neto utiliza tabelas específicas que ajustam o dimensionamento ao relevo, solo e clima regionais, sendo o mais indicado. Recomenda-se o uso dos métodos de Lombardi Neto (1989) e Bertoni

(1959) para maior precisão, com suporte técnico especializado e ferramentas de *software* para melhor adaptação às características locais.

(i) Referências de espaçamento de terraços

Seja o cálculo feito manualmente, ou através de software, é importante comparar espaçamentos já estabelecidos. A Tabela 3 traz espaçamentos do programa HidroTerraço 1.0, e a Tabela 4 apresenta espaçamentos de culturas perenes e anuais em plantio direto e convencional no Cerrado.

Tabela 3 - Espaçamentos horizontais e verticais gerados pelo programa HidroTerraço 1.0 para a localização do terraço para a região de Chapecó, SC⁴.

Declive (%)	Tempo de retorno 15 anos e velocidade de infiltração-50mm/h	
	Espaçamento Horizontal (m)	Espaçamento Vertical (m)
5	57,5	2,87
8	40,25	3,22
10	34,5	3,45
12	30,66	3,68
15	26,83	4,02

Tabela 4 - Espaçamento de terraços em nível para culturas perenes e anuais, sem gradiente (metros)⁵.

Declividade (%)	Textura Arenosa (< 15% de Argila)		Textura Média (15% a 35% de Argila)		Textura Argilosa (> 35% de Argila)	
	E.H.	E.V.	E.H.	E.V.	E.H.	E.V.
1	73	0,73	76	0,76	81	0,81
2	43	0,85	46	0,92	51	1,02
3	33	0,98	36	1,07	41	1,22
4	28	1,1	31	1,22	36	1,42
5	24	1,22	27	1,37	33	1,63
6	22	1,34	26	1,53	31	1,83
7	21	1,46	24	1,68	29	2,03
8	20	1,59	23	1,83	28	2,24
9	19	1,71	22	1,98	27	2,44
10	18	1,83	21	2,14	26	2,64

E.H. (espaçamento horizontal) = $(EV \times 100)/D\%$; EV (espaçamento vertical) = $[2 + (D\%/X)] 0,305$, onde D = declividade do terreno em %; X = coeficiente que varia de acordo com a natureza do solo: 1,5 (argiloso), 2,0 (textura média), 2,5 (arenoso).

(ii) Microterraçamento

Podem ser construídos em sistemas de fileira simples, com espaçamento mínimo de 3,2 metros entre linhas e 0,8 metros entre plantas, ou em fileiras duplas, com espaçamento de 1,8 metros entre linhas duplas e entre 2,45 e 3,0 metros para as linhas onde serão construídos.

⁴ Fonte: Adaptado de BASSANI (2023)

⁵ Fonte: adaptado de RESCK, 2002.

(i) Determinação da declividade e locação

(i) Terraceamento

Após a definição do espaçamento ideal entre os terraços, é necessário determinar a declividade média do terreno e a locação exata das linhas dos terraços. Esse processo deve ser feito em campo, utilizando um **nível óptico**, **régua topográfica**, **trena** e **estacas** para marcar a posição dos terraços. Os passos para essa etapa são:

- Identificar o ponto mais alto do terreno e medir a declividade média em algumas direções.
- Demarcar a primeira linha de terraços com espaçamento seguro, utilizando estacas para marcar o terreno a cada 10 ou 20 metros.
- A partir da primeira linha, continuar medindo a declividade e marcando as demais linhas de terraços.

(ii) Microterraceamento

Recomenda-se que sejam realizados em áreas com até 60% de declividade para evitar movimentações excessivas de terra e barrancos muito altos (KROHLING et al., 2023). Entretanto, é importante destacar que áreas com declividade superior a 45° são consideradas APP e, mesmo quando regularizadas, não são recomendadas para a movimentação de solo. Krohling et al. (2023) fornecem uma tabela que relaciona a declividade do terreno à altura do talude.

(j) Softwares gratuitos para dimensionamento

Tendo em mãos as informações que foram levantadas em campo é possível proceder a utilização do programa para o planejamento de terraços, tais como o HidroTerraço 1.0 (BACK, A. J; WILDNER, L. P., 2022) ou o Terraço 4.1.

(i) HidroTerraço 1.0

Para utilizar o programa **HidroTerraço 1.0**, é necessário seguir algumas etapas que envolvem a inserção de informações hidrológicas, geográficas e agronômicas.

(ii) Terraço 4.1

Este programa utiliza dados específicos sobre as condições do terreno e o solo para calcular o espaçamento e as dimensões dos terraços, de modo a otimizar a prática de conservação do solo e da água.

3.2.3 Curva de nível com cochinchos

Esta é uma tecnologia que vindo sendo desenvolvida recentemente, de forma que praticamente não há divulgação científica sobre o tema, havendo limitado referencial teórico acerca de sua implementação. Entretanto, dado seu relevante grau de inovação e sucesso de implantação (p.ex.: Município de Atílio Vivacqua, ES)⁶, esta tecnologia está sendo indicada. Ela é funcionalmente muito similar às caixas secas, que integradas aos terraços e barraginhas formam uma estrutura de contenção de enxurradas. Dado seu formato, possibilitam sua alocação em áreas mais declivosas, sendo uma prática potencial na recuperação de áreas degradadas.

6 <https://projetoarraginhas.blogspot.com/>

Para descrever este sistema foi utilizada a nota técnica divulgada pelo pesquisador Luciano Cordoval de Barros, coordenador nacional do projeto Barraginhas na Embrapa Milho e Sorgo, iniciativa premiada pela Fundação Banco do Brasil, no Projeto “Transforma – Rede de Tecnologias Sociais”⁷, juntamente com as considerações apresentadas por Machado et al. (2022). Foram também consideradas as experiências do Técnico Márcio Menegussi Menon, coordenador e principal técnico executor do Projeto Barraginhas do município de Atilio Vivacqua/ES.

Este sistema foi desenvolvido para a recuperação ambiental em áreas rurais degradadas, em encostas (com declividade até 25%) com curvas de nível intercaladas com estruturas rasas chamadas cochinhos, com o objetivo de aumentar a capacidade de retenção e infiltração de água das enxurradas (Fotos 24 e 25).



Foto 24 - Recuperação de pastagem degradada com o uso de curva de nível em cochinhos, município de Atilio Vivacqua-ES, 4 anos após a implantação (detalhe).
Lucyan V. Listo



Foto 25 - Recuperação de pastagem degradada com o uso de curva de nível em cochinhos, município de Atilio Vivacqua-ES, 4 anos após a implantação (vista aérea).
Lucyan V. Listo

Funcionam de maneira similar às barraginhas, porém são utilizados em áreas com declividades acima de 12%, onde as barraginhas não são recomendadas. Os cochinhos são escavações lineares ou em formato retangular, feitos com retroescavadeira, com até 70 cm de profundidade, 80 cm de largura e 8 m de comprimento (largura da pá do maquinário), posicionados ao longo das curvas de nível em intervalos de 3 m (Fotos 26 e 27).

7 <https://transforma.fbb.org.br/tecnologia-social/curva-de-nivel-com-cochinhos>



Foto 26 - Curva de Nível em Cochinhos (em construção)
Márcio Menon / Município de Atilio Vivácqua-ES.



Foto 27 - Curva de Nível em Cochinhos (finalizada).
Márcio Menon / Município de Atilio Vivácqua-ES.

A separação entre os cochinhos se dá por estruturas similares a “travesseiros”, maciços de 2 a 3 metros de comprimento, em formato “chanfrado”, que são rebaixados em até 20 cm, possibilitando a transferência do excedente de água entre os cochinhos (Fotos 28 e 29). Esta técnica foi desenvolvida com a participação ativa de agricultores familiares e surgiram como uma iniciativa para controle do avanço da erosão em voçorocas de propriedades rurais (MACHADO et al., 2022; BARROS, 2024).



Foto 28 - Curva de Nível (separação entre cochinhos), município de Atilio Vivácqua-ES.
Márcio Menon



Foto 29 - Curva de Nível (separação entre cochinhos), município de Atílio Vivácqua-ES.
Márcio Menon

3.2.4 Preparo de solo em nível com arado de boi

O preparo do solo com arado de boi começa com a marcação do terreno em nível, usando pé de galinha ou mangueira de nível de 15 metros, com estacas indicando o traçado do terraço. Após a marcação, a área é roçada para remover vegetação, necessária para a passada do trabalho do boi e do arado, garantindo uniformidade no manejo e controle do escoamento.

O arado de boi realiza a primeira passada ao longo das estacas, cortando e deslocando terra para formar o camalhão. Após mais duas passadas, aprofundando o sulco, cria-se um terraço de 40 a 50 cm, capaz de reter água, reduzir escoamento e facilitar o plantio, conservando o solo e aumentando a infiltração (Foto 30).



Foto 30 - Terraceamento executado com arado de boi em área declivosa para implantação de sistema agroflorestal com banana.
Fernando Moura Antunes

Com habilidade, o operador do arado de boi pode trabalhar em **declividades de até 25%**, útil em terrenos acidentados, garantindo que o terraço siga o nível correto para controlar a erosão e reter umidade. Essa técnica milenar ainda é usada em áreas rurais de agricultura familiar e locais de difícil acesso a maquinários, embora esteja se tornando rara devido à mecanização e à escassez de profissionais habilitados.

3.2.5 Custos associados

O terraceamento exige investimentos em maquinário e mão de obra especializada. Segundo RESCK (2002); WADT (2004) e GRIEBELER et al. (2005), os custos envolvem planejamento, construção

e manutenção. Principais itens incluem contratação de especialistas, aluguel e operação de máquinas, consumo de combustível e manutenção contínua para garantir durabilidade e conservação do solo. Na Tabela 5 são detalhados os principais componentes de custo.

Tabela 5 - Custos estimados para projeto, execução e manutenção de terraceamento, utilizando-se como base um levantamento de gastos para 10 hectares⁸.

Etapa	Descrição	Custo Estimado
Planejamento	Levantamento topográfico: Análise da área, inclinação do terreno e espaçamento dos terraços, utilizando GPS de alta precisão, drones ou teodolitos.	R\$ 300,00 a R\$ 1.000,00/ha
	Consultoria técnica: Contratação de agrônomos ou especialistas para dimensionar os terraços com base em fatores como tipo de solo e precipitação.	R\$ 100,00 a R\$ 300,00/ha
Construção	Maquinário: Uso de tratores de esteira, motoniveladoras, escavadeiras e arados para o terraceamento.	R\$ 10.000,00 a R\$ 25.000,00 (10 ha)
	Combustível e operadores: Inclui combustível e custos de operadores qualificados.	R\$ 1.500,00 a R\$ 3.000,00/ha (combustível)
		R\$ 80,00 a R\$ 150,00/hora (operadores)
Materiais e Equipamentos	Ferramentas de construção: Estacas de madeira, cordas de nivelamento, marretas e outras ferramentas manuais.	R\$ 100,00 a R\$ 300,00/ha
	Correção do solo: Aplicação de corretivos como calcário ou gesso agrícola, para melhorar a capacidade de infiltração de água no solo.	R\$ 200,00 a R\$ 500,00/ha
Manutenção	Inspeção regular: Inspeções anuais para verificar a eficiência dos terraços e a remoção de sedimentos.	R\$ 150,00 a R\$ 500,00/ha/ano
	Reparos: Refazer camalhões ou canais, conforme necessário.	R\$ 500,00 a R\$ 2.000,00/ha
	Limpeza de canais: Remoção de sedimentos dos canais dos terraços, especialmente em áreas com alta precipitação.	R\$ 100,00 a R\$ 300,00 por hectare/ano
Custo total estimado para 10 hectares em novembro/2024		R\$ 15.000,00 a R\$ 35.000,00

Preparo do solo com arado de boi

Um orçamento realizado para preparo de solo de 5 hectares com arado de boi, considerando o município de Cunha/SP, a hospedagem e alimentação de 5 pessoas, o transporte dos animais por 100 km (R\$ 2.500,00) foi de R\$ 22.650,00 no ano de 2018. Deste modo, o custo por hectare foi de R\$ 4.530,00 (dados não publicados do autor).

3.2.6 Implantação dos terraços e microterraços

(a) Construção de acordo com o maquinário

O uso integrado de dois ou mais equipamentos é mais recomendado.

(i) Trator de pneus e arado de discos reversíveis

A construção dos terraços pode ser realizada com diferentes tipos de maquinário, sendo o **trator de pneus com arado de discos reversíveis** uma das opções mais comuns. Esse equipamento é

8 Fonte: Adaptado de RESCK (2002), WADT (2004) e GRIEBELER et al. (2005)

eficiente para áreas com declividade moderada e solos que permitem movimentação sem grande risco de compactação (Foto 31).

- O operador deve começar a construção fazendo passadas de ida e volta com o arado, sempre movimentando o solo para o centro do terraço.
- Inicia-se com uma distância de cerca de 40 cm da linha de demarcação e a cada nova passada o trator deve se aproximar da linha de estacas, movimentando a terra até formar um camalhão central elevado.



Foto 31 - Construção de terraço de base estreita com arado de três discos.
WADT, 2004

(ii) Trator de pneus e terraceador agrícola

O terraceador agrícola possui três chassis (frontal, direito e esquerdo) e um cabeçalho para acoplamento ao trator, acionado por sistema hidráulico que ajusta os discos de corte para formar os terraços. Chassis laterais com braços telescópicos facilitam o transporte e podem incluir discos de acabamento (Foto 32).

A eficiência depende da umidade do solo, sendo ideal operar em solo friável para evitar patinagem, torrões e compactação. O número de discos varia de 14 a 48, exigindo mais peso e potência conforme aumenta.

- **Primeiras passadas:** Iniciar com as seções de discos paralelas ao solo em terreno não preparado, utilizando uma grade aradora ou subsolador. No terreno preparado, as seções podem ter pequena inclinação.
- **Passadas posteriores:** Gradualmente, acionar o cilindro hidráulico para inclinar os discos, formando o terraço. São necessárias de 10 a 12 passadas para finalizar o terraço.
- **Acabamento:** Utilizar arados de discos ou subsoladores para alargar a base e eliminar sulcos deixados pelos discos mais externos.



Foto 32 - Construção de terraço de base larga com arado terraceador agrícola. EMBRAPA, 2012.

(iii) Trator de esteiras

Outra opção eficiente, especialmente para terrenos com presença de pedras ou declividades acentuadas, é o uso de tratores de esteira. Esses equipamentos são mais robustos e permitem maior movimentação de solo em menos tempo (Foto 33).

- O processo começa com a escarificação da área do canal para facilitar o corte do solo e a infiltração da água.
- O operador deve mover o solo de cima para baixo, formando o camalhão gradualmente.



Foto 33 - Construção de terraço com trator de esteiras. José Cezar Zoccal.

(iv) Motoniveladora

A **motoniveladora**, ou patrula, é um equipamento adequado para a construção de terraços em terrenos com declividade de até 15%. Seu uso proporciona um acabamento mais uniforme, facilitando as operações agrícolas posteriores.

- Após o estaqueamento, a motoniveladora corta e move o solo do canal para o camalhão, ajustando altura e largura conforme o projeto.
- O acabamento com a motoniveladora permite que a superfície do terraço fique suave, facilitando a mecanização e o manejo agrícola.

(b) Especificações e recomendações

1. Altura da crista - A crista do terraço deve ter 50 cm acima do talvegue, garantindo retenção de água para infiltração e prevenindo transbordamentos em chuvas intensas.
2. Inclinação do talude - O talude do terraço deve ter inclinação de 20%, garantindo tráfego seguro de máquinas, estabilidade e menor risco de deslizamentos em chuvas fortes.
3. Largura total do terraço - A largura total do terraço pode variar entre 15 e 20 metros, dependendo das condições do solo e da declividade do terreno.
 - Zona de corte - A zona de corte, onde o solo é escavado para formar o canal do terraço, deve ter entre 3 e 6 metros de largura.
 - Zona de aterro (taludes do terraço) - A zona de aterro, onde o solo removido é depositado para formar o camalhão, deve ter cerca de 12 metros de largura.
4. Declividade máxima para terraços em nível - Terraços em nível são recomendados para declividades até 18%; acima disso, optar por terraços de drenagem ou desnível para evitar acúmulo de água e rupturas.
5. Terraços em áreas de solos arenosos ou rasos - evitar terraços em nível em solos arenosos ou rasos com declividade acima de 15%, devido ao risco de rompimento. Prefira terraços de drenagem para direcionar a água a canais.
6. Adequação às condições locais - O tipo de solo e clima devem orientar as dimensões dos terraços. Solos rasos ou pedregosos exigem espaçamentos menores para evitar colapsos e sobrecarga hídrica.

(c) Microterraceamento

O documento nº. 310 do Incaper⁹ apresenta diferentes métodos para a construção dos microterraços, que variam em custo e rendimento (Fotos 34 e 35), como:

- Trator com lâmina traseira (marcha a ré) - Rendimento de 15 a 40 horas por hectare.
- Trator com lâmina dianteira - Mesmo rendimento do método com lâmina traseira.
- Miniescavadeira - Rendimento de 15 a 30 horas por hectare.
- Pequenos tratores de esteira - Rendimento de 15 a 20 horas por hectare.
- Uso de tração animal - Exige animais treinados, e o rendimento é de 32 horas por hectare.
- Abertura manual - Baixo rendimento e alto custo de mão de obra, com um rendimento de 25 dias por hectare.

9 <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/4496/1/Doc310-Microterraceamento-Incaper.pdf>



Foto 34 - Microterraceamento com inclinação leve (5-10%) - espachamento menor.
KROHLINK et al. (2023)



Foto 35 - Microterraceamento com inclinação leve (5-10%) - espachamento maior e maquinários de tratos culturais.
KROHLINK et al. (2023)

Para a execução do microterraceamento, são sugeridos os seguintes equipamentos: (i) minitratores com bitola inferior a 1,5 metros; (ii) microtratores de rabeta; (iii) motos adaptadas com implementos; (iv) miniescavadeiras (Foto 36)



Foto 36 - Construção de microterraços em lavouras implantadas com Mini Escavadeira.
KROHLING et al. (2023)

3.2.7 Manutenção dos terraços

Para a manutenção dos terraços as medidas a serem adotadas podem ser classificadas em preventivas e corretivas.

(a) Preventivas: (i) Adotar espaçamento e manejo que controlem a erosão e reduzam o assoreamento; (ii) realizar plantio em sulcos nivelados ou com pequeno gradiente; (iii) instalar faixas de retenção acima dos terraços para reduzir a velocidade do escoamento e transporte de sedimentos; (iv) usar arado reversível para mover terra no aclave, compensando a erosão; (v) cultivar nos camalhões com plantas de alta cobertura do solo; (vi) aplicar terraços com gradiente em solos com horizonte textural, como Argissolos e Planossolos; (vii) preparar e plantar paralelamente aos terraços; (viii) evitar trânsito de máquinas sobre os camalhões.

(b) Corretivas: Visa restaurar os terraços, removendo sedimentos do canal e reposicionando terra no camalhão. A manutenção varia conforme solo, cultura, equipamento e pluviosidade, devendo ser feita antes do preparo do solo, com elevação do camalhão e limpeza do canal.

Principais causas do rompimento de terraços:

Dentre as causas de rompimento dos terraços destacam-se:

- (i) manejo inadequado do solo;
- (ii) espaçamento excessivo entre terraços;
- (iii) dimensionamento incorreto da seção transversal;
- (iv) má locação dos terraços;
- (v) defeitos na construção resultam em seções onde a crista do camalhão se encontra em cota mais baixa;
- (vi) presença de galerias no terraço: buracos feitos por tatu, formigueiros, raízes podres etc.;
- (vii) convergência para o terraço de águas vindas de fora da área terraceada, como estradas, carreadores e outras áreas vizinhas;
- (viii) movimento de máquinas e animais sobre o camalhão, provocando o seu rebaixamento;
- (ix) abertura de sulcos e covas no camalhão;
- (x) falta de manutenção e limpeza do canal;
- (xi) ocorrência de chuvas de alta intensidade;
- (xii) construção de terraços em nível em solos de baixa permeabilidade;
- (xiii) presença de nascentes na área compreendida entre terraços.

3.3 Subsolação e Escarificação

3.3.1 Conceitos

A **subsolação** é uma prática mecânica de conservação do solo, realizada com o uso do subsolador que visa romper camadas compactadas abaixo da superfície, normalmente entre 30 cm e 50 cm, sem revolver a camada superficial.

A **escarificação** é uma operação mecânica realizada com o uso de escarificadores de hastes, projetados para romper camadas compactadas do solo sem causar a inversão da leiva, ou seja, sem revirar as camadas superiores (até 30 cm de profundidade).

3.3.2 Objetivos

A subsolação e a escarificação são técnicas eficazes no controle da erosão, pela melhoria da estrutura do solo e restauração da porosidade e capacidade de infiltração de água, promovendo um ambiente mais favorável ao crescimento das plantas por permitir um desenvolvimento radicular mais profundo e saudável.

3.3.3 Vantagens da subsolagem e escarificação

- Redução da compactação do solo: reduzem a compactação subsuperficial e superficial do solo, criando canais para o desenvolvimento radicular e melhorando a porosidade e aeração do solo, o que resulta em um ambiente mais saudável para as plantas.
- Melhoria na infiltração de água: aumentam significativamente a capacidade do solo de infiltrar e reter água, reduzindo o escoamento superficial e, conseqüentemente, diminuindo o risco de erosão hídrica.
- Diminuição do revolvimento superficial: não causam revolvimento excessivo das camadas superficiais do solo, garantindo cobertura vegetal e evitando a exposição e a perda de matéria orgânica e reduzindo os impactos negativos sobre sua estrutura física.
- Retenção de águas pluviais: contribuem para a retenção de água no perfil do solo, ao manter a cobertura vegetal, melhorar a estrutura e aumentar a infiltração.
- Prevenção da erosão do solo: pelo rompimento das camadas compactadas e manutenção da rugosidade superficial e manutenção dos restos vegetais, fazem com que a água da chuva penetre mais profundamente no solo, diminuindo o fluxo superficial responsável por processos erosivos.
- Melhoria das propriedades físicas e químicas do solo: promovem o aumento da disponibilidade de nutrientes no perfil do solo e os fertilizantes aplicados em superfície conseguem atingir camadas mais profundas, melhorando a eficiência da adubação.
- Beneficia a microbiota do solo: ao aumentar a oxigenação e a infiltração de água, proporcionam condições ideais para o desenvolvimento de microrganismos benéficos que melhoram a fertilidade biológica do solo.
- Aumento do desenvolvimento radicular: as práticas permitem que as raízes das plantas penetrem mais profundamente, promovendo maior absorção de nutrientes e água.
- Maior produtividade: podem contribuir para melhorar a produtividade das culturas, especialmente em solos compactados, ao melhorar as condições físicas do solo e reduzir o estresse hídrico nas plantas.
- Redução do custo operacional: em especial a escarificação é considerada menos onerosa em comparação com operações que envolvem o revolvimento completo do solo, como a aração, especialmente em áreas manejadas com sistemas de plantio direto.

3.3.4 Desvantagens

- Alto consumo de energia e custos: exige maquinário potente, aumentando o consumo de combustível e os custos operacionais, especialmente para pequenos agricultores.
- Efeito temporário: os benefícios podem ser temporários, especialmente em solos sujeitos a tráfego intenso, necessitando repetição da prática.
- Risco de erosão: em áreas com declividade ou solos expostos, pode aumentar o risco de erosão hídrica se não houver cobertura vegetal adequada.
- Danos à estrutura do solo: se realizada de forma inadequada, pode reorganizar as partículas do solo de maneira desfavorável, comprometendo a porosidade e retenção de água.
- Possibilidade de compactação secundária: se realizada com condições inadequadas de umidade ou profundidade incorreta podem não resolver completamente o problema e até piorar a compactação em camadas mais profundas (RICHART, A. et al., 2005).

- Risco de ressecamento: aumenta a evaporação do solo, agravando o ressecamento, especialmente em áreas com pouca cobertura vegetal.
- Eficácia limitada em solos hidromórficos: em solos saturados, pode ser ineficaz ou prejudicial, exigindo integração com sistemas de drenagem para evitar encharcamento.

3.3.5 Planejamento

(a) Aspectos da escolha da prática (aplicabilidade e adequabilidade)

A subsolagem é recomendada para solos com compactação em profundidades superiores a 40 cm, onde práticas de escarificação não conseguem romper as camadas compactadas. É especialmente eficaz em sistemas de plantio direto e em áreas com culturas perenes, como cafezais e florestas plantadas. Quando a subsolagem é realizada inadequadamente, em áreas de declividade acentuada ou com solos muito frágeis, pode expor o solo à erosão hídrica e resultar na criação de sulcos de erosão, especialmente se o solo não for adequadamente estabilizado com cobertura vegetal após a prática.

Em relação à escarificação, por ser esta uma prática de preparo reduzido do solo, é recomendada em diversas áreas de uso agrícola, com diferentes tipos de ocupação (pastagem, lavoura, plantio florestal, entre outras).

(i) Tipo de erosão

A subsolagem atua no controle da erosão superficial ao permitir maior infiltração da água, diminuição do volume de escoamento superficial e, conseqüentemente, o arraste de partículas do solo. Quando a subsolagem é combinada com a prática de terraceamento e outras estruturas de controle da erosão linear, a subsolagem se torna uma grande aliada para elevar os índices de infiltração, otimizando o impacto das demais práticas.

A escarificação atua tanto no combate à erosão superficial quanto na mitigação de processos erosivos lineares, quando realizada corretamente, pois melhora a infiltração de água, aumentando a rugosidade da superfície e mantendo os restos vegetais o que ajuda a reter sedimentos e reduzir o fluxo de água superficial.

(ii) Uso e ocupação do solo

Áreas de pastagem - Reduzindo a compactação causada pelo pisoteio de animais e melhorando o desenvolvimento do pasto.

Áreas de lavoura - A escarificação é eficaz, em especial em sistemas de plantio direto, para aliviar a compactação causada pelo tráfego de máquinas, melhorando o desenvolvimento radicular e a produtividade das culturas anuais, como soja, milho e trigo. Nestas condições, a subsolagem é usada de forma localizada para romper camadas compactadas, permitindo a continuidade do sistema sem revolver o solo em sua totalidade. Em pomares de frutíferas e cafezais, tanto a subsolagem quanto a escarificação podem ser realizadas entre as linhas de plantio para evitar danos ao sistema radicular e melhorar o desenvolvimento das plantas.

Áreas de plantio florestal - Em sistemas agroflorestais ou florestas comerciais, a escarificação pode ser usada para preparar o solo para plantio de mudas, facilitando o desenvolvimento radicular. Na silvicultura a subsolagem é uma prática comum, especialmente antes da implantação de florestas comerciais, como eucalipto, onde a profundidade de até 50 cm é recomendada para melhorar o desenvolvimento radicular das mudas e o armazenamento de água no solo.

Preparo de estradas rurais vicinais - Em recuperação e manutenção de estradas rurais vicinais, a escarificação pode ser utilizada para melhorar a estabilidade do solo.

(iii) Condicionantes edafoclimáticas

Escoamento superficial – Tanto a subsolagem quanto a escarificação melhoram a infiltração da água, reduzindo o escoamento superficial e, conseqüentemente, a erosão hídrica.

Clima e precipitação – Estas práticas devem ser adotadas em períodos secos ou com chuvas moderadas, de modo que o planejamento o monitoramento das condições climáticas para garantir que a operação ocorra em condições ideais. Realizar as práticas logo após chuvas moderadas (15 a 30 mm) é ideal, pois o solo estará suficientemente úmido para facilitar a penetração das hastes, mas não saturado a ponto de dificultar a operação.

Teores de umidade no solo – Teores elevados de umidade no perfil do solo podem tornar ineficazes a subsolagem e a escarificação e, em alguns casos, chegar a ser prejudicial, devido ao polimento que promove nas camadas subsuperficiais do solo que fica em contato direto com as hastes. Em solos hidromórficos e naqueles mais suscetíveis à saturação, a execução da prática de subsolagem, em especial, apresenta seus maiores desafios, podendo nem sempre ser benéfica, devendo ser cuidadosamente planejada e integrada a um sistema de manejo que inclua práticas de drenagem adequadas e outras estratégias de conservação do solo.

Distúrbio do solo - A subsolagem pode causar um distúrbio significativo na estrutura do solo, especialmente se não for realizada corretamente e alguns aspectos não forem considerados previamente, tal como a saturação, a drenagem, a morfologia, a textura e a densidade de solo, entre outros. Esse distúrbio pode resultar em uma reorganização desfavorável das partículas do solo, afetando negativamente a porosidade e a capacidade de retenção de água. Já a escarificação não apresenta esta desvantagem, pois interfere na camada superficial como prática de preparo reduzido do solo.

Risco de ressecamento do solo em determinada área - A subsolagem pode aumentar o risco de ressecamento do solo, especialmente em áreas com pouca cobertura vegetal ou durante períodos de seca prolongada. Isso ocorre porque a subsolagem aumenta a área exposta do solo, facilitando a evaporação da água (NUNES et al., 2021). Por mobilizar menos o solo e agir na camada superficial, este risco é menor na escarificação.

(iv) Textura e permeabilidade do solo

Solos argilosos - A subsolagem e a escarificação são altamente recomendadas, pois esses solos tendem a se compactar facilmente, reduzindo sua permeabilidade. A prática melhora a infiltração da água e promove um ambiente radicular mais adequado. Entretanto, deve-se evitar realizar a subsolagem quando o solo está saturado, para evitar o aumento da compactação em profundidades maiores.

Solos arenosos - A subsolagem deve ser realizada com cautela, pois estes solos possuem naturalmente maior permeabilidade e menor tendência à compactação. Além disso, a subsolagem excessiva pode aumentar a perda de água por percolação, reduzindo a disponibilidade de água para as culturas. Nesta textura, a escarificação pode ser menos eficaz e aumentar o risco de erosão.

(b) Declividade

A subsolagem é recomendada para áreas com declividade de até 40%. Em terrenos com declividades superiores a esse valor, a prática pode não ser eficaz, pois a profundidade de trabalho pode ser limitada, e o risco de erosão hídrica aumenta. Em áreas de declive acentuado, é recomendável adotar técnicas conservacionistas complementares, como patamares, cordões vegetados e terraceamento -

até a declividade recomendada para esta prática, para evitar a erosão. Para o caso da escarificação, em áreas com declividades acentuadas, o risco de erosão é maior, especialmente se esta for mal executada, aumentando o escoamento superficial.

(c) Custo e Energia

A subsolagem é intensiva em termos de energia e custo, podendo representar um investimento significativo para pequenos agricultores. Requer disponibilidade de maquinário pesado, pois, como a subsolagem deve ser realizada com o solo seco, exige máquinas com maior potência para tracionar o implemento. Sendo assim, possui o maior consumo de combustível dentre todos os equipamentos agrícolas de preparo de solo. Já a escarificação, por ser uma prática de preparo reduzido do solo, realizada na camada superficial, demanda menos energia e custos (MACEDO et al., 2020).

(d) Fatores de sustentabilidade

(i) Integração com outras práticas

A integração com outras práticas conservacionistas é essencial para aumentar a sustentabilidade da subsolagem e escarificação do solo. Embora eficientes no rompimento da compactação, têm efeitos temporários, especialmente em solos sujeitos a compactação recorrente por uso de equipamentos como arado e grade de discos, tráfego de máquinas ou condições climáticas adversas. Integrar a subsolagem e a escarificação com outras práticas garante a longevidade dos benefícios e minimiza impactos ambientais.

Principais práticas a serem integradas¹⁰

- Plantio direto com cobertura vegetal – Devem ser associadas ao plantio direto com palhada, o que ajuda a manter a estrutura do solo após a operação. A cobertura vegetal protege o solo contra a erosão, favorece a infiltração de água e ajuda a aumentar os teores de matéria orgânica.
- Rotação de Culturas - A alternância de culturas com diferentes sistemas radiculares, incluindo leguminosas e gramíneas, auxilia na melhoria da estrutura do solo, favorecendo a agregação de partículas e evitando a recompactação. Culturas como o milho, a braquiária e o nabo forrageiro são recomendadas.
- Adubação Verde - A inclusão de plantas de adubação verde (como a mucuna e o feijão-deporco) no sistema contribui para o aumento da matéria orgânica e da biodiversidade do solo, o que melhora sua resiliência e estabilidade a longo prazo.
- Sistemas Agroflorestais (SAF) - A integração de árvores em consórcios agrícolas promove a proteção do solo, auxiliando na melhoria da estrutura física, infiltração de água e controle de erosão. Além disso, as árvores funcionam como barreiras contra o vento e ajudam a manter a umidade no solo.

(ii) Aspectos de sustentabilidade

Monitoramento Contínuo - Após a subsolagem e a escarificação, é essencial monitorar a compactação e as propriedades físicas do solo ao longo do tempo, utilizando penetrômetros e análise de infiltração de água. Esse monitoramento permite a identificação precoce de problemas e a adoção de novas intervenções conforme necessário.

¹⁰ Ver mais no Vol. 6 - Manual de Práticas Edáficas para Conservação de Solos e Recursos Hídricos.

Manutenção da Cobertura do Solo - A cobertura do solo, com palha ou culturas de cobertura, deve ser mantida para evitar o impacto direto da chuva, que pode causar erosão superficial. A prática do plantio direto é crucial nesse sentido.

Uso controlado de máquinas - O tráfego excessivo de maquinário agrícola pode recompactar o solo em pouco tempo. Portanto, é importante controlar o número de passagens de máquinas, utilizando práticas como a agricultura de precisão para otimizar as operações e reduzir a compactação indesejada.

Preparo adequado do solo - A subsolagem e a escarificação devem ser executadas em condições adequadas de umidade do solo (solo friável), evitando realizar a prática em solo saturado ou extremamente seco, que pode causar mais danos à estrutura do solo.

(e) Máquinas e equipamentos recomendados

A seguir são apresentados alguns implementos que podem trabalhar acoplados para melhorar a eficiência de preparo do solo.

(i) Subsoladores

Em solos com camadas compactadas mais profundas, os subsoladores podem ser uma alternativa eficaz. Esses implementos são capazes de trabalhar a partir de 30 cm de profundidade, rompendo camadas compactadas formadas por "pé de arado" ou tráfego excessivo de máquinas pesadas (Figura 1).

(ii) Escarificadores

Possuem hastes robustas que penetram o solo sem revolver a camada superficial. Alguns modelos possuem rolo destorreador que ajuda a nivelar o solo após a operação. Escarificadores com hastes curtas são indicados para camadas mais superficiais de compactação, enquanto os de hastes mais longas são recomendados para camadas profundas (20-30 cm) (Figura 2).



Figura 1 – Arado subsolador.
Fonte: Brasimp¹¹



Figura 2 – Arado escarificador
Fonte: Agri Expo¹²

(iii) Equipamentos acoplados

Existem equipamentos que funcionam acoplados, em especial aos subsoladores, dos quais destacam-se:

Rolo destorroador - Implemento acoplado na parte traseira do subsolador, cuja função é nivelar o solo após a operação e quebrar os torrões formados durante o processo de subsolagem, deixando a superfície do solo mais uniforme, o que facilita operações subsequentes, como o plantio.

Niveladores de solo – Atuam como barras de nivelamento ou discos, e podem ser acoplados ao subsolador para suavizar a superfície do solo após a descompactação e garantem que o solo fique mais uniforme para as próximas operações agrícolas, como a semeadura.

Discos cortadores (ou disco de corte) - Em algumas versões de subsoladores, discos cortadores são instalados na frente das hastes para cortar a palhada ou resíduos de colheita na superfície do solo, evitando que se enrosquem nas hastes durante o trabalho. Esses discos garantem que a palhada seja cortada de maneira eficiente, permitindo uma descompactação mais uniforme. Aumentam a eficiência do subsolador em sistemas de plantio direto, evitando o acúmulo de palha e garantindo que o solo seja rompido de maneira eficaz, sem perturbar a cobertura vegetal.

Rompedores de crostas superficiais - Alguns subsoladores podem ser equipados com implementos específicos para quebrar crostas superficiais do solo, comuns em solos de textura argilosa. Esses implementos atuam na camada superficial, enquanto o subsolador trabalha nas camadas mais profundas. Facilitam a infiltração da água e o desenvolvimento de raízes nas camadas superficiais, melhorando a eficácia do subsolador nas camadas mais profundas.

Rodados auxiliares - Rodados auxiliares, ou sistemas de rodagem ajustáveis, podem ser instalados para garantir uma profundidade de trabalho constante do subsolador, especialmente em terrenos irregulares. Esses rodados ajudam a manter o controle da profundidade de subsolagem, evitando que as hastes trabalhem muito fundo ou de forma inadequada. Garantem uniformidade na profundidade de subsolagem, otimizando o consumo de energia e a eficácia da operação.

Escarificadores acoplados - Em alguns casos, subsoladores podem ser utilizados em combinação com escarificadores para descompactar diferentes camadas do solo simultaneamente. Enquanto o subsolador rompe a compactação mais profunda, o escarificador atua nas camadas intermediárias, criando uma ação combinada que melhora a estrutura do solo em diversas profundidades. A combinação

12 <https://www.agriexpo.online/pt/prod/tatu-marchesan/product-173791-54571.html>

das duas práticas otimiza o manejo físico do solo, permitindo que ele tenha melhores condições de infiltração de água e crescimento radicular.

Subsolador florestal - O subsolador florestal é um implemento agrícola projetado especificamente para descompactar solos em áreas destinadas ao plantio florestal. Ele possui hastes reforçadas, capazes de penetrar até 50 cm de profundidade, rompendo camadas compactadas sem revirar o solo superficial e exigem tratores de alta potência, tal como os com esteiras. Suas hastes geralmente têm uma maior resistência para lidar com as condições mais severas encontradas em solos de áreas florestais, como raízes e terrenos com maiores obstáculos. O subsolador florestal é recomendado para preparar o solo antes do plantio de árvores em florestas comerciais (como eucalipto e pinus), promovendo uma melhor infiltração de água, desenvolvimento radicular profundo e aeração do solo, fatores essenciais para o crescimento saudável das árvores. O uso do subsolador florestal com trator de esteira é altamente eficaz em áreas florestais de difícil acesso ou com solos muito compactados, onde tratores de pneus convencionais teriam dificuldade em operar. O trator de esteira oferece maior tração e estabilidade, permitindo o uso do subsolador em terrenos inclinados, pedregosos ou com alta resistência ao corte.

3.3.6 Projeto

(a) Avaliação da área e seleção do local

(i) Local de execução

A seleção do local para a subsolagem requer uma avaliação detalhada das características físicas e químicas do solo, como sinais de compactação subsuperficial entre 30 e 50 cm, que são muito comuns aos solos com texturas argilosas e histórico de uso intensivo de maquinário agrícola, sendo recomendada em áreas de lavouras, fruticultura e culturas perenes são recomendados para a prática, que ajuda a melhorar a infiltração de água, aeração, e desenvolvimento radicular. Em áreas com declividades superiores a 40%, a prática da subsolagem pode aumentar os riscos de erosão hídrica, especialmente em períodos chuvosos, tornando-se inadequada.

Para o caso da escarificação deve-se dar atenção especial às condições edafoclimáticas e os parâmetros físicos do solo, sendo recomendada em áreas com problemas de compactação superficial que limitem o desenvolvimento radicular, especialmente em sistemas de plantio direto ou áreas de pastagens, onde o solo sofre com o tráfego intenso de maquinário ou pisoteio animal.

(ii) Observação e análise visual

A observação e análise visual do solo é uma etapa preliminar e fundamental para identificar a necessidade de subsolagem e para o caso da escarificação. Esta análise permite identificar características físicas que indicam problemas de compactação e baixo desempenho no desenvolvimento das culturas:

1. **Sistemas radiculares** - Ao abrir trincheiras no solo, a análise do desenvolvimento das raízes pode revelar compactação. Raízes que crescem superficialmente ou que estão deformadas e engrossadas indicam uma barreira compactada que impede o crescimento radicular profundo.
2. **Drenagem e infiltração de água** - A presença de poças de água após chuvas, bem como um escoamento superficial visível, pode ser um indicio de compactação que impede a infiltração de água. Isso é comum em solos mal estruturados, onde a água não penetra nas camadas mais profundas.
3. **Estrutura do solo** - A observação da estrutura do solo, identificando a presença de crostas superficiais ou uma textura densa e maciça, também é indicativa de compactação. Solo com

pouca porosidade e baixa agregação de partículas precisa ser descompactado para promover melhor aeração e circulação de água.

4. **Desenvolvimento das culturas** - Outro indicador visual é o desempenho das culturas. Plantas com desenvolvimento reduzido, especialmente em anos de seca ou com maior exigência de água, podem estar sofrendo de deficiência hídrica devido à compactação do solo que impede a penetração das raízes em busca de água.
5. **Avaliação da cobertura do solo** - Em sistemas de plantio direto ou áreas de pastagem, é importante verificar a quantidade e qualidade da cobertura vegetal. A presença de cobertura morta, como palhada, ajuda a proteger o solo e deve ser mantida para evitar erosão.

(b) Avaliação de impacto ambiental

A avaliação de impacto ambiental é uma etapa crítica no planejamento da subsolagem, pois essa prática pode alterar as condições do solo e afetar o ecossistema. É necessário considerar os seguintes aspectos:

1. **Impacto na biodiversidade do solo** - A subsolagem e a escarificação podem afetar a fauna do solo, incluindo microrganismos e invertebrados que vivem nas camadas superficiais e subsuperficiais. A descompactação pode alterar o habitat desses organismos, especialmente se for feita sem a proteção de cobertura vegetal. A adoção de práticas conservacionistas, como a manutenção da cobertura morta, ajuda a mitigar esses impactos.
2. **Erosão e escoamento superficial** - Em áreas com declividade ou com histórico de erosão, (em especial a subsolagem) pode aumentar o risco de escoamento superficial e erosão hídrica se realizada sem a devida proteção do solo. Devem ser combinadas com o plantio de culturas de cobertura, ou com práticas de conservação, como o terraceamento, para minimizar esses riscos. É ainda muito importante manter a estrutura do solo e a integração com sistemas conservacionistas, como o plantio direto.
3. **Emissão de gases de efeito estufa** - A subsolagem, ao romper a estrutura do solo, pode aumentar a liberação de dióxido de carbono (CO_2), devido à maior aeração e mineralização da matéria orgânica. Para mitigar esse impacto, é importante adotar práticas de adubação verde e plantio direto após a subsolagem, a fim de reter carbono no solo.

(c) Uso de tecnologia para o planejamento

O uso de tecnologias, como ferramentas de geoprocessamento, modelagem hidrológica e sensoriamento remoto, oferece um enorme potencial para otimizar o planejamento da subsolagem e escarificação do solo. Essas tecnologias permitem uma análise detalhada das condições locais, garantindo que as práticas sejam realizadas de forma eficiente, minimizando os impactos ambientais e maximizando os benefícios para o solo. A integração dessas ferramentas com estratégias complementares, como o monitoramento contínuo e a capacitação da equipe técnica, é fundamental para garantir o sucesso a longo prazo.

São detalhadas etapas e recursos tecnológicos que podem ser utilizados para otimizar a prática, com foco nos aspectos que precisam ser levados em consideração, as ferramentas disponíveis e as estratégias complementares que podem aumentar a eficácia do planejamento.

(i) Ferramentas de geoprocessamento

Permitem a análise espacial detalhada das áreas de interesse, auxiliando na tomada de decisão em relação à escarificação. Possibilitam o mapeamento e a análise de diferentes características do solo,

topografia e uso da terra, fundamentais para a identificação de áreas problemáticas e o planejamento adequado da intervenção.

- Mapeamento da compactação do solo - O uso de ferramentas de geoprocessamento permite mapear a compactação do solo com base em dados coletados por sensores de compactação (penetrômetros) e mapeamento de solos. Com esses dados, é possível delimitar com precisão as áreas que requerem intervenção.
- Análise da topografia - O relevo da área afeta diretamente o risco de erosão e a dinâmica hídrica após a escarificação. Com o uso de Modelos Digitais de Elevação (MDE), obtidos via dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) ou imagens de satélite, é possível identificar áreas suscetíveis à erosão hídrica e direcionar a escarificação de forma a minimizar esses impactos.
- Zoneamento agroecológico - A integração de mapas de uso e ocupação do solo com informações climáticas e hidrológicas, utilizando plataformas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como o QGIS (Quantum GIS), ajuda a identificar áreas de alta vulnerabilidade ambiental ou agrícola, facilitando a escolha das áreas mais adequadas para a escarificação.
- São recomendadas as seguintes ferramentas:
 - QGIS - *Software* livre e de código aberto, o QGIS permite o processamento de dados espaciais, análise de relevo, visualização de camadas temáticas (solo, uso da terra, declividade) e a realização de modelagens simples e avançadas. Ele também suporta plugins específicos para análise agrícola, como o Sextante, que auxilia na modelagem hidrológica.
 - *Google Earth Engine* - Ferramenta poderosa para o monitoramento remoto, baseada na nuvem, que permite o acesso a imagens de satélite e dados históricos, auxiliando no planejamento da subsolagem e escarificação ao fornecer uma visão contínua da evolução da área ao longo do tempo.

(ii) Modelagem Hidrológica

A modelagem hidrológica é fundamental para prever o impacto da subsolagem e escarificação no regime hídrico da área e otimizar a infiltração de água no solo. Essa tecnologia pode ser usada para calcular o escoamento superficial e identificar áreas onde a escarificação poderia promover uma melhoria significativa na infiltração ou onde ela poderia aumentar os riscos de erosão. A seguir são apresentados possibilidades e aspectos a serem considerados:

- Análise de escoamento superficial - A modelagem hidrológica ajuda a identificar as rotas de escoamento de água e as áreas mais suscetíveis à erosão. Isso é essencial para definir onde a escarificação é necessária para melhorar a infiltração e onde é necessário adotar práticas complementares, como o terraceamento.
- Precipitação e capacidade de infiltração - Utilizando dados meteorológicos históricos, combinados com informações de capacidade de infiltração do solo, a modelagem hidrológica pode prever o comportamento da água no solo após a escarificação, ajudando a evitar o risco de saturação ou erosão.
- São recomendadas as seguintes ferramentas:
 - HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*) - Uma ferramenta gratuita desenvolvida pelo Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA, projetada para modelar o processo de escoamento superficial. Ela pode ser usada para prever como a escarificação afetará o escoamento em áreas agrícolas e para identificar as áreas mais críticas para intervenção.

- **SWAT (Soil and Water Assessment Tool)** - Uma ferramenta de modelagem hidrológica usada para simular o impacto de práticas de manejo do solo na qualidade e quantidade de água em bacias hidrográficas. O SWAT é uma excelente opção para modelar o impacto da escarificação em grandes áreas agrícolas e identificar os benefícios da prática na retenção de água no solo.

(e) Custos associados

Apresenta-se na Tabela 6 os custos estimados associados à prática de subsolagem, baseada em fontes relevantes e documentos fornecidos. A menção a “intervenção” na tabela se refere a uma unidade de projeto ou atividade pontual, que pode variar dependendo do tamanho da área monitorada. Em geral, uma intervenção de monitoramento inicial ou pós-subsolagem pode ser realizada em uma área de aproximadamente 10 a 20 hectares, dependendo da complexidade e da tecnologia utilizada

Tabela 6 - Custos associados às práticas de subsolagem e escarificação¹³

Item	Custo Unitário para subsolagem (R\$)	Unidade
Aluguel de subsolador	300,00	hectare
Combustível (diesel por hectare)	90,00	hectare
Operador de máquina	250,00	diária
Manutenção de equipamento	50,00	hectare
Custo de monitoramento inicial (penetrometria)	600,00	intervenção (10 a 20 hectares)
Custo de adubação verde/cobertura vegetal	250,00	hectare
Custo de drenagem complementar (quando necessário)	1500,00	projeto
Monitoramento pós-subsolagem (análise e sensores de solo)	600	intervenção (10 a 20 hectares)
Item	Custo Unitário para escarificação (R\$)	Unidade
Aluguel de escarificador	250,00	hectare
Combustível (diesel por hectare)	80,00	hectare
Operador de máquina (diária)	200,00	diária
Manutenção de equipamento	40,00	hectare
Custo de monitoramento inicial (técnico/ penetrometria)	500,00	intervenção
Custo de insumos adicionais (composto/cobertura vegetal)	200,00	hectare
Monitoramento pós-escarificação	500,00	intervenção

3.3.7 Implantação

(a) Execução

(i) Seleção do equipamento

- **Tipo de subsolador ou escarificador** - Geralmente, o subsolador utilizado possui hastes longas que penetram de 30 a 50 cm de profundidade no solo. Para a escarificação, a profundidade

recomendada é geralmente entre 20 cm e 40 cm, dependendo do grau de compactação e do tipo de solo.

- **Quantidade de hastes** - A quantidade de hastes deve ser ajustada conforme o tipo de solo e a potência do trator. Em solos mais duros, um menor número de hastes pode ser necessário para que o equipamento tenha força suficiente para romper a compactação.
- **Regulagem do equipamento** - Ajustar o subsolador e o escarificador para trabalhar na profundidade correta, de acordo com a avaliação prévia do solo e da camada compactada. Para ambos os equipamentos, o espaçamento entre as hastes geralmente varia de 40 a 60 cm, dependendo do tipo de solo e da intensidade da compactação.

(ii) Execução do Trabalho

- **Planejamento das passadas** - Realizar a subsolagem e a escarificação em linhas paralelas, de preferência conforme as curvas de nível, para maximizar o rompimento da compactação sem aumentar o risco de erosão. No caso da escarificação, as passadas devem ter sobreposição mínima em torno de 10 a 20 cm para garantir que não fiquem faixas compactadas entre as hastes.
- **Velocidade de trabalho** - A velocidade de operação recomendada varia de 4 a 6 km/h (para a subsolagem), e de 4 a 8 km/h (para escarificação) permitindo que as hastes do subsolador penetrem adequadamente no solo. Uma velocidade muito alta pode comprometer a eficácia do rompimento da camada compactada.
- **Sentidos cruzados** - Em solos com alto grau de compactação, pode ser necessária uma subsolagem ou escarificação em dois sentidos (cruzado), o que melhora o rompimento do solo.
- **Proteção do solo após a operação** - É importante garantir que o solo subsolado esteja coberto com palhada ou com plantas de cobertura para prevenir erosão e ressecamento.

(b) Demonstração

- Orientações para escolha sobre subsolador ou escarificador para solo com problemas de compactação - <https://www.youtube.com/watch?v=3vWmPVtw3t8>
- Arado subsolador ("pé de pato") – Para tratores de menor porte, mais adaptado à realidade da agricultura familiar - https://www.youtube.com/watch?v=OpEDyLMgsTU&ab_channel=Vima-gM%C3%A1quinasAgr%C3%ADcolas
- Subsolador descompactador X Subsolador "pé de pato" – Comparação entre implementos utilizando maquinários de potência mediana – <https://www.youtube.com/watch?v=urMkja-tXAKM>
- Subsolador Florestal com Trator de Esteira - <https://www.youtube.com/watch?v=lvj6DZkHF-tU&pp=ygUKc3Vic29sYWRvcg%3D%3D>
- Descompactação de solos com escarificadores – Apresentação do uso de penetrômetro antes e depois da escarificação a 45 cm de profundidade no sistema Santa Fé (milho+braquiária) – <https://www.youtube.com/watch?v=WOfYeYNI9Js>
- Escarificação em pastagem – Uso de trator Massey 4708 com escarificador de 5 hastes em um pasto de capim Mombaça, demonstrando o manejo no período de chuvas - <https://www.youtube.com/watch?v=G2laUD-reFU>.

3.3.8 Manutenção

(a) Orientações e recomendações

Para manter os resultados da subsolagem e da escarificação a médio e longo prazo é essencial monitorar regularmente a compactação do solo utilizando ferramentas como penetrômetros, verificando se o solo continua descompactado e permitindo o desenvolvimento radicular e a infiltração de água. Além disso, é importante adotar práticas que evitem a recompactação, como o controle do tráfego de máquinas, a rotação de culturas e o uso de cobertura vegetal para proteger o solo. O monitoramento da umidade e da qualidade da estrutura do solo também ajuda a garantir que os benefícios da subsolagem sejam mantidos por mais tempo.

A integração de práticas conservacionistas é fundamental para sustentar os efeitos da subsolagem. O uso de plantas de cobertura, adubação verde, e a manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo auxiliam na preservação da estrutura física do solo e na sua capacidade de retenção de água. Além disso, é necessário acompanhar a infiltração de água e possíveis sinais de erosão em áreas com declive, garantindo que o solo não perca sua integridade e continue produtivo ao longo do tempo.

3.4 Escoamento Superficial Difuso

3.4.1 Conceito

O **escoamento superficial difuso (ESD)** é uma técnica de manejo de solo e água com o objetivo de reduzir os impactos da erosão hídrica em áreas agrícolas, através de uma dispersão homogênea do fluxo de água da chuva sobre a superfície do solo. Essa prática é especialmente relevante para o cultivo de cana-de-açúcar, onde há grande movimentação de solo e maiores riscos associados à erosão (SPAROVECK; MAULE, 2015; MAZZA; FRANCO; CAMPANELLI, 2018). A técnica de ESD baseia-se no controle da **rugosidade da superfície do solo**, utilizando práticas como o **plantio em desnível** para reduzir a velocidade do fluxo, promover maior retenção e infiltração da água superficial (Fotos 37 e 38).



Foto 37 - Área canavieira preparada com a técnica ESD, demonstrando a direção do fluxo da drenagem da água pluvial.
Alexandre Puglisi Barbosa Franco



Foto 38 - Área canieira preparada com a técnica ESD, demonstrando a direção do fluxo da drenagem da água pluvial.
Alexandre Puglisi Barbosa Franco

Enquanto o terraceamento atua na interceptação e represamento da água em canais criados no solo, comprometendo a mecanização e o manejo eficiente da área cultivada, a técnica de ESD promove a dispersão natural da enxurrada pelo terreno, evitando a convergência de fluxos e minimizando intervenções físicas profundas que prejudiquem a mecanização. Ao distribuir a enxurrada de forma difusa, o ESD desacelera o fluxo hídrico e otimiza a infiltração, reduzindo a erosão e melhora a eficiência no manejo das áreas cultivadas (MAZZA; FRANCO; CAMPANELLI, 2018) (Foto 39).



Foto 39 - Área preparada com a técnica ESD, demonstrando a direção do fluxo da drenagem e do escoamento superficial.
Gerd Sparovek¹⁴

Pesquisas com profissionais agrários mostram que a implementação de práticas de conservação do solo no Brasil, especialmente terraços de infiltração, frequentemente se baseia em conhecimento popular e recomendações empíricas (SPAROVECK; MAULE, 2015; FRANCO, 2018; MAZZA; FRANCO; CAMPANELLI, 2018). Essa abordagem negligencia a drenagem adequada, causando falhas hidráulicas que resultam em voçorocas e maior assoreamento de corpos hídricos. Neste contexto, o escoamento superficial difuso começa a ser desenvolvida na **ESALQ - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"** durante a década de 1990, em resposta aos desafios observados com o uso de terraços de infiltração, refinada nos anos 2000 e consolidada em 2015 (SPAROVECK, MAULE, 2015; MAZZA; FRANCO; CAMPANELLI, 2018).

O sistema de ESD foi aceito pela Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo (SAA), na publicação do Boletim 216 em outubro de 2016, no qual a AGInfo¹⁵ teve participação ativa na elaboração do capítulo 6 (DE MARIA, 2016). Esse desenvolvimento ocorreu em colaboração com instituições

¹⁴ http://www.stab.org.br/palestra_sistematizacao_2013/03_gerd_sparovek_23.pdf

¹⁵ <https://www.aginfo.agr.br/>

agrícolas, parceiros e empresas do setor de cana-de-açúcar, que implementaram a técnica em suas operações e validaram sua eficácia em campo (Foto 40).



Foto 40 - Área preparada com técnica de ESD.
Alexandre Puglisi Barbosa Franco

3.4.2 Objetivo

Reduzir a erosão hídrica dispersando o fluxo de enxurrada de maneira difusa e controlada ao longo da superfície do solo, promovendo maior infiltração de água no solo e evitando a formação de canais concentrados que podem causar erosão severa. Propõe a migração do Sistema de Infiltração para o Sistema de Drenagem, especialmente para áreas de maior declividade para a cultura de cana-de-açúcar, promovendo o aumento da área agrícola útil, redução de custos de manutenção e da necessidade de manobras no processo de mecanização, reduzindo os impactos ambientais da erosão acelerada do solo (Foto 41).



Foto 41 - Evidência de funcionamento do sistema de ESD.
Alexandre Puglisi Barbosa Franco

A Foto 41 mostra um exemplo de sua aplicação onde a enxurrada gerada pela falha hidráulica dos terraços da área vizinha foi coletada pelas linhas do sistema de ESD, em desnível, conduzindo o escoamento na declividade dos sulcos (2%) e não do terreno (10%).

3.4.3 Vantagens

- Redução da erosão - Reduz a formação de canais erosivos e promove maior infiltração de água no solo, o que melhora a retenção de água e nutrientes no perfil do solo.

- Melhor uso da terra - Comparado ao terraceamento, estudos demonstraram que o ESD pode otimizar a área agrícola útil em até **7,64%**, podendo chegar em até **9,99%** dependendo da técnica utilizada anteriormente (SPAROVECK; MAULE, 2015).
- Diminuição dos custos de manutenção - A eliminação de terraços de infiltração e a necessidade reduzida de infraestrutura para controle da água superficial diminuem os custos operacionais de manutenção (SPAROVECK; MAULE, 2015).
- Facilidade de implementação em agricultura mecanizada - Permite operações mais eficientes e contínuas, eliminando o ajuste de máquinas para curvas de nível e terraços.
- Redução de manobras - Em algumas áreas a redução chegou a **32,21%** (SPAROVECK; MAULE, 2015).
- Redução da sistematização do solo, eliminando raspagens após a estabilização do sistema.
- Redução de custos de reforma do canavial.

3.4.4 Desvantagens

A conversão de terraços de infiltração para ESD exige reavaliação do manejo de água e cultivo, além de monitoramento contínuo para evitar falhas na cobertura do solo, especialmente em solos vulneráveis à erosão. (SPAROVECK; MAULE, 2015)

- Necessidade de monitoramento contínuo - O ESD reduz a manutenção física, mas requer monitoramento contínuo para assegurar a dispersão eficiente da água e evitar novos canais erosivos.
- Maior risco em áreas suscetíveis - Em solos vulneráveis ou com erosão severa, a conversão do terraceamento para ESD pode aumentar os riscos de erosão localizada durante a fase de implantação.
- Complexidade de implementação - O ESD exige planejamento detalhado, considerando condições edafoclimáticas e topográficas, além de conhecimento técnico e projetos complexos, o que pode limitar sua aplicação em propriedades menores ou regiões com pouca capacitação técnica.
- Limite para a eficácia - Relacionado à capacidade do solo de infiltrar água e à inclinação do terreno, pois em áreas onde o solo é muito compactado ou a declividade é elevada, o ESD sozinho pode não ser suficiente para controlar a erosão, sendo recomendada nesses casos a utilização do ESD com terraços de drenagem associados à canais escoadouros vegetados.

3.4.5 Planejamento

O sistema de ESD envolve análises detalhadas de solo, geomorfologia, hidráulica, hidrologia e clima, resultando em projetos executivos elaborados em sistemas de informações geográficas (SIG). As linhas de plantio são desenhadas com desnível contínuo, eliminando fluxos concentrados e declividades acentuadas, conduzindo a enxurrada de forma lenta e difusa, o que aumenta o tempo de concentração e favorece a sedimentação e infiltração de água (FRANCO, 2018¹⁶).

(a) Aspectos da escolha da prática (aplicabilidade e adequabilidade)

(i) Tipo de erosão

O ESD é recomendado principalmente para o controle da erosão superficial e linear, que ocorrem em áreas com escoamento concentrado de enxurradas. A técnica difunde o fluxo de água sobre a superfície do solo, evitando a formação de canais erosivos.

O terraceamento de infiltração, quando mal aplicado, pode causar **acúmulo inadequado de água**, favorecendo a falha hidráulica e consequente erosão em pontos não previstos. A eliminação de estruturas como terraços de infiltração pode ser a solução de problemas crônicos de ocorrência de falhas devido ao uso de espaçamentos e seções de represamento alterados para facilitar a mecanização (Foto 42).



Foto 42 - Falha hidráulica sequencial causada por colapso de estruturas de **terraceamento**. Neste caso, o rompimento levou à destruição dos demais que estavam a jusante.
Alexandre Puglisi Barbosa Franco

(ii) Uso e ocupação do solo

O ESD é altamente indicado para **culturas perenes** e áreas de **grande movimentação de solo**, como a produção de cana-de-açúcar, em qualquer tipo de solo, sendo mais eficiente em solos com elevada susceptibilidade à erosão, uma vez que nessas condições os sistemas de terraços de infiltração promovem as falhas hidráulicas com mais frequência. Sua implementação favorece a mecanização agrícola, pois não impõe barreiras físicas que atrapalhem o uso de maquinário, diferentemente dos terraços de infiltração.

(b) Condicionantes edafoclimáticas

Clima e precipitação pluviométrica - Eficaz em áreas com precipitações de altas intensidades, onde a formação de enxurradas pode ser distribuída pela rugosidade superficial criada pelo projeto de tráfego. Entretanto, nessas condições de chuvas intensas, a prática requer ajustes para evitar sobrecarga de fluxo e falhas no controle da erosão.

Lençol freático elevado - Áreas com lençol freático elevado podem necessitar de adaptações, já que a drenagem eficiente da água é fundamental para o sucesso da técnica.

Textura e permeabilidade do solo - Solos com textura média e alta permeabilidade são mais adequados para o ESD, pois permitem maior infiltração de água. Solos compactados ou com baixa permeabilidade podem exigir intervenções prévias, como a subsolagem, para melhorar o desempenho da técnica.

A cobertura do solo é o fator mais impactante no controle da erosão acelerada do solo. A implantação de projetos de ESD é mais segura quando associada à técnica de preparo e plantio em faixas. A alternância de cobertura do solo em operações mecanizadas realizadas em faixas com diferença de tempo, protegem da erosão laminar em 50 % da área e ainda interceptam enxurrada nas faixas cobertas, parcelando a rampa de declive aliviando a energia da enxurrada (Foto 43).



Foto 43 - Área preparada em faixas com a técnica ESD.
Alexandre Puglisi Barbosa Franco

(c) Declividade

A técnica de ESD é mais indicada para terrenos com declividades altas. Entretanto, nessas áreas o risco de falha na dispersão da enxurrada aumenta, demandando planejamento mais complexo e intervenções adicionais, como a criação de barreiras vegetativas. A inclinação do terreno é um fator crítico para o sucesso da técnica, pois a velocidade do escoamento aumenta com o grau de declividade, exigindo maior controle da rugosidade superficial.

(d) Fatores de sustentabilidade da prática

Combinação de técnicas conservacionistas

Para garantir a sustentabilidade do ESD, é essencial combiná-lo com outras técnicas de conservação do solo, como o uso de barreiras vegetativas e controle da rugosidade superficial. O ESD não deve ser aplicado de forma isolada, especialmente em terrenos muito declivosos ou em solos com baixa capacidade de infiltração. É fundamental integrar este sistema com práticas de manejo da cobertura do solo (Foto 44).



Foto 44 - Área canavieira preparada em faixas com a técnica ESD.
Alexandre Puglisi Barbosa Franco

Alterações no processo produtivo

A conversão de áreas com terraços para ESD requer mudanças no processo produtivo. Isso envolve ajustes nas técnicas de plantio e no manejo da água, além de maior atenção à manutenção contínua.

(e) Máquinas e equipamentos recomendados

Máquinas agrícolas - Para a preparação do solo e controle da rugosidade superficial, são utilizadas máquinas agrícolas como subsoladores e arados. Além disso, são necessário implementos para nivelamento do solo que podem ser feitos com o uso de niveladoras de solo ou motoniveladoras. O objetivo é corrigir pequenas imperfeições no terreno que possam causar concentrações indesejadas de escoamento, garantindo um fluxo de água mais homogêneo.

Piloto automático - A prática do ESD pode ser otimizada com o uso de máquinas com piloto automático, que ajudam a manter a precisão no alinhamento das linhas de plantio e na distribuição do escoamento de água.

Equipamentos de levantamento topográfico - Para a implementação adequada do ESD, é necessário o uso de equipamentos de levantamento altimétrico detalhado, como *drones* ou sistemas de GPS de alta precisão, que ajudam a identificar as classes de declividade e a planejar os canais escoadouros. O sistema *LiDAR* atualmente produz uma informação completa sobre a superfície do terreno independente da cobertura do solo, os feixes luminosos atravessam a vegetação e fazem o levantamento preciso da superfície do solo gerando dados para criação de modelos digitais de terreno, base para o projeto de ESD.

3.4.6 Projeto

Observação e análise visual - A análise visual do terreno, incluindo a observação de padrões de erosão pré-existentes e o comportamento da água em eventos de chuva, é fundamental para planejar o sistema ESD.

Avaliação de impacto ambiental - É crucial avaliar o impacto ambiental da implementação do ESD, considerando a redução do uso de terraços e a maior área disponível para o cultivo. Além disso, deve-se analisar o impacto da técnica na qualidade da água e na biodiversidade local.

Geoprocessamento e modelagem hidrológica - O uso de *softwares* de geoprocessamento e modelagem hidrológica permite simular o comportamento da água no terreno e otimizar o posicionamento dos canais e das linhas de plantio. Isso melhora a eficiência do ESD e garante que o escoamento seja distribuído de maneira uniforme.

A implantação de um sistema de Escoamento Superficial Difuso (ESD) exige a construção de uma base de dados digital abrangendo informações de solos, altimetria, clima e cadastro, além do dimensionamento hidrológico e hidráulico considerando bacias hidrográficas e estruturas. Inclui o desenho detalhado das linhas de tráfego para operações de preparo, plantio, pulverização, aplicação de insumos e colheita, bem como a classificação de áreas para sistematização conforme o risco de erosão. É necessário realizar o planejamento antecipado da cobertura do solo (PACS), o plano de eliminação de terraços de infiltração, a implantação de canais escoadouros vegetados (CEV), o sistema viário com estradas, carreadores e pátios, e o sistema de drenagem de estradas, incluindo desaguadouros. Por fim, é fundamental planejar adequadamente a colheita para integrar todas essas etapas ao manejo conservacionista (FRANCO, 2018¹⁷).

17 <https://www.aginfo.agr.br/> - alexandre.aginfo@gmail.com

O projeto de ESD integra o controle de erosão (PCE) e enxurrada (PCX), exigindo estudos detalhados do meio físico e propostas individuais adaptadas às particularidades de cada área. Com o projeto finalizado espera-se os seguintes produtos:

- memoriais de cálculo do dimensionamento hidrológico das bacias hidrográficas dos projetos;
- memoriais de cálculo do dimensionamento hidráulico das estruturas conservacionistas;
- projeto de construção e cronograma de implantação para canal escoadouro vegetado (CEV), se houver;
- projeto de alinhamento de plantio para condução de enxurrada através das linhas de sulcagem, com declividades nas linhas de acordo com parâmetros indicados pelo projeto;
- projeto específico de construção, manutenção e drenagem de estradas, com definição do alinhamento e manutenção de estradas e carreadores com apresentação dos mapas de localização espacial das estruturas projetadas para drenagem de estradas (desaguadouros).

3.4.7 Implantação

O sistema exige uma nova abordagem de manejo do solo, fundamentada no planejamento antecipado da cobertura, com definição da quantidade de área e tempo em que o solo ficará descoberto, dividindo a rampa de escoamento em faixas de sistematização, preparo e plantio alternadas com faixas intactas, com sucesso na contenção do volume de enxurrada sem provocar nenhum represamento (Fotos 45 e 46).



Foto 45 - Implantação de sistema de Escoamento Superficial Difuso em área de alto risco de erosão.
Alexandre Puglisi Barbosa Franco



Foto 46 - Sistema de ESD com sistematização, preparo e plantio em faixas, respectivamente.
Alexandre Puglisi Barbosa Franco

Declividade do terreno - Em áreas de alta declividade, a técnica deve ser adaptada para evitar a concentração de escoamento e minimizar a erosão. A declividade também influencia o posicionamento dos canais escoadouros e das estradas.

Talhonamento - O talhonamento das áreas deve seguir critérios específicos para cada cultura e sistema de irrigação, e deve ser projetado para otimizar o escoamento difuso da água. A localização das estradas e carreadores também deve ser planejada com base em critérios de declividade e fluxo de enxurrada.

Planejamento de canais escoadouros vegetados - Os canais escoadouros são projetados para suportar grandes volumes de água, conduzindo-a até as hidrografias sem concentrá-la em pontos específicos. O planejamento cuidadoso desses canais é essencial para evitar o transbordamento e falhas. (Foto 47).



Foto 47 - Áreas de produção em sistema ESD produzindo uma perspectiva de Mudança na Paisagem.
Alexandre Puglisi Barbosa Franco

3.4.8 Manutenção

Monitoramento contínuo do solo - A técnica do ESD requer o monitoramento constante do solo para garantir que o escoamento esteja sendo distribuído de maneira uniforme. Esse monitoramento é especialmente importante em áreas com alta incidência de chuvas ou com solo compactado.

Inspeção dos canais escoadouros - Deve-se inspecionar regularmente os canais escoadouros para garantir que estejam livres de sedimentos e funcionando corretamente. Acúmulos de sedimentos podem impedir a infiltração da água e resultar em erosão localizada.

Revisão periódica da área - A revisão periódica do projeto é importante para ajustar o sistema conforme as condições do solo e do clima mudam. Em áreas onde o ESD não está funcionando como previsto, podem ser necessárias intervenções adicionais, como a criação de barreiras vegetativas ou o aumento da rugosidade do solo.

Para mais informações sobre a prática de ESD consultar:

1. Aula completa na base digital da USP - <https://eaulas.usp.br/portal/video?idItem=3167>
2. <https://www.youtube.com/watch?v=T2howgqmRNI>
3. Vídeo de apresentação da AGInfo - <https://www.youtube.com/watch?v=IRKoOb8FNEU>

4 CONTROLE DE PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREAS DEGRADADAS

A erosão linear é um tipo de erosão que ocorre quando o escoamento superficial da água se concentra em linhas específicas do terreno, formando sulcos, ravinas ou até voçorocas. Esse processo é caracterizado pela remoção contínua e acelerada de camadas de solo ao longo de um canal definido, comprometendo a estabilidade do solo e favorecendo a formação de grandes depressões e cavidade, que podem evoluir se não forem controladas. É comum em áreas com declividade acentuada e solos desprotegidos, resultando em degradação intensa da paisagem e do solo.

Ravinas e voçorocas são processos erosivos intensos que resultam na formação de sulcos profundos no solo, causados principalmente pelo escoamento superficial concentrado e descontrolado. As ravinas surgem como fissuras menores, que, se não controladas, podem evoluir para voçorocas, com profundidades e larguras significativas, comprometendo a estabilidade de terrenos e a produtividade agrícola, além de causar degradação ambiental severa. O controle e a prevenção desses processos erosivos são essenciais para evitar a perda de solo fértil, a sedimentação de corpos d'água e o agravamento das condições de uso da terra. A aplicação de técnicas de bioengenharia, que combinam o uso de vegetação com estruturas de contenção inertes, destaca-se como uma solução eficaz e sustentável, pois promove a recuperação natural do solo e a estabilização de encostas com menor impacto ambiental e custos reduzidos. Além disso, essas técnicas oferecem benefícios ecológicos ao restaurar a vegetação nativa e melhorar a biodiversidade local, contribuindo para a resiliência dos ecossistemas frente a eventos erosivos.

O objetivo principal das práticas mecânicas na recuperação de áreas degradadas é criar condições básicas necessárias para a implementação de práticas vegetativas, ou seja, a revegetação. A revegetação consiste no plantio de espécies vegetais adaptadas ao ambiente específico, sendo frequentemente complementada e precedida por práticas edáficas. Estas, por sua vez incluem a aplicação de cobertura morta sobre o solo, proporcionando proteção superficial e contribuindo para a formação de serrapilheira.

As práticas mecânicas integradas com estratégias de bioengenharia, são essenciais para estabilizar as margens, controlar o fluxo de água e promover a revegetação das áreas afetadas. Uma abordagem robusta é necessária para a eficácia dessas práticas e requer um planejamento detalhado que avalie a topografia, hidrologia e características do solo antes da aplicação. É fundamental realizar uma manutenção regular das estruturas para garantir sua eficácia e longevidade. A integração com práticas biológicas, como revegetação, complementa essas intervenções, maximizando a recuperação e promovendo a sustentabilidade ambiental.

4.1 Bioengenharia

O conceito de bioengenharia está relacionado à utilização integrada de elementos vivos, como a vegetação, com materiais inertes em projetos de estabilização de solos e controle de erosão. A bioengenharia de solos busca explorar as características biológicas das plantas, em especial suas raízes, para promover a estabilização de encostas e taludes, além de conter processos erosivos. Essas técnicas são especialmente adequadas para áreas de difícil acesso ou onde o uso de maquinário pesado não é viável. Sua implementação favorece o uso sustentável dos recursos naturais, promovendo a recuperação ambiental com baixo impacto e a regeneração de ecossistemas degradados (GRAY; SOTIR, 1996).

Entre as diversas práticas de bioengenharia destacam-se o uso de espécies vegetais de raízes profundas, como o Vetiver (*Vetiveria zizanioides*), que atua como uma ancoragem natural, aumentando a coesão do solo e a resistência ao cisalhamento. O consórcio de leguminosas, como Crotalária

(*Crotalaria juncea*) e feijão de porco (*Canavalia ensiformis*), também é comumente utilizado para melhorar a cobertura do solo e reduzir a erosão superficial. A associação desses elementos biológicos com materiais inertes, como colchões Reno® e geotêxteis (Fibrax 400BF), permite o controle imediato da erosão enquanto a vegetação se estabelece, criando uma solução eficaz e duradoura.

(a) Paliçadas de eucalipto

A técnica das paliçadas de eucalipto é amplamente utilizada em projetos de recuperação de áreas degradadas, principalmente em encostas suscetíveis à erosão. Esta técnica visa estabilizar o solo e prevenir a movimentação dos detritos, proporcionando um ambiente mais seguro para a regeneração da vegetação (Foto 48).

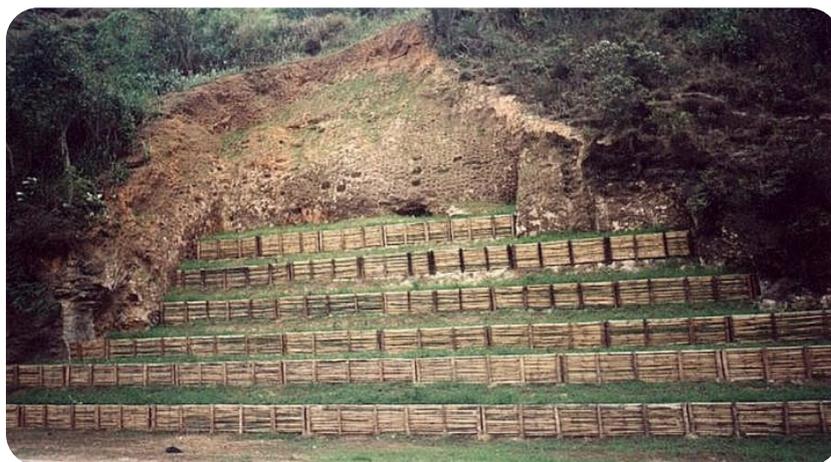


Foto 48 - Paliçadas de Eucaliptos Tratados para contenção de encosta.
Geocities¹⁸

A utilização de paliçadas de eucalipto em projetos de recuperação de voçorocas demonstra ser uma técnica eficiente e de implementação relativamente fácil. A sua eficácia depende do planejamento adequado, execução correta e manutenção contínua. Integrada com outras práticas mecânicas e vegetativas, contribui significativamente para a estabilização do solo e recuperação de áreas degradadas.

(i) Material utilizado

- **Troncos de eucalipto** - Preferencialmente de diâmetros uniformes, variando de 10 a 15 cm de diâmetro. O eucalipto é escolhido por sua disponibilidade, durabilidade e resistência a pragas e doenças.
- **Estacas** - Troncos menores de eucalipto ou outro material resistente para fixação das paliçadas.
- **Ferramentas** - Martelos, marretas, pás, enxadas e furadeiras de solo.

(ii) Etapas da implantação

1. Planejamento e levantamento da área

- **Análise topográfica** - Avaliação da inclinação e características do solo.
- **Identificação dos pontos críticos** - Locais onde a erosão é mais severa e precisa de intervenção urgente.

2. Preparo do Solo

- **Limpeza da área** - Remoção de vegetação daninha e detritos.

- **Marcação das posições** - Utilizando estacas e cordas para demarcar as áreas onde as paliçadas serão instaladas.

3. Instalação das Paliçadas

- **Cravação das estacas** - Estacas são cravadas no solo em intervalos regulares (geralmente entre 1,5 e 2 metros) ao longo da linha de contorno da encosta.
- **Fixação dos troncos de eucalipto** - Os troncos são fixados horizontalmente nas estacas, formando uma barreira contínua. A altura das paliçadas pode variar conforme a necessidade, mas geralmente ficam entre 30 e 50 cm de altura.
- **Inclinação** - As paliçadas são instaladas levemente inclinadas para trás, em direção à encosta, para melhor suporte ao solo.

4. Reforço e Estabilização

- **Compactação do solo** - O solo atrás das paliçadas é compactado para aumentar a estabilidade.
- **Cobertura vegetal** - Plantio de gramíneas e leguminosas atrás e entre as paliçadas para auxiliar na retenção do solo e aumento da infiltração de água.

(iii) Manutenção

- **Monitoramento regular** - Inspeções periódicas para verificar a integridade das paliçadas e reparar danos causados por chuvas intensas ou movimento do solo.
- **Reforço da vegetação** - Replanteio e manutenção da cobertura vegetal para assegurar a estabilização contínua do solo.

(iv) Benefícios das Paliçadas de Eucalipto (Foto 49)

- **Controle de erosão** - Reduz a velocidade do escoamento superficial, minimizando a erosão.
- **Estabilização de encostas** - Previne deslizamentos de terra e outros movimentos de massa.
- **Facilita a regeneração vegetal** - Cria um microambiente protegido que favorece o estabelecimento de novas plantas.
- **Custo-benefício** - Utiliza materiais disponíveis localmente, sendo uma solução econômica e eficaz.



Foto 49 - Paliçadas de eucaliptos tratados para contenção de encosta, com plantio de mix de sementes para estabilização. Terra Green Bioengenharia¹⁹

(b) Controle de erosão em voçorocas e ravinas

As práticas mecânicas para a recuperação de voçorocas, também conhecidas como ravinas ou erosões em estágio avançado, são essenciais para estabilizar as margens, controlar o fluxo de água e promover a revegetação das áreas afetadas. Uma abordagem robusta é necessária para a eficácia dessas práticas e requer um planejamento detalhado que avalie a topografia, hidrologia e características do solo antes da aplicação. É fundamental realizar uma manutenção regular das estruturas para garantir sua eficácia e longevidade. A integração com práticas biológicas, como revegetação, complementa essas intervenções, maximizando a recuperação e promovendo a sustentabilidade ambiental.

(i) Recuperação de voçorocas de grande porte

Um dos principais desafios na recuperação de voçorocas é diferenciar entre rocha e o saprólito, que é a rocha parcialmente intemperizada ainda mantendo a textura e estrutura original da rocha. Esse material apresenta diversas durezas e limitações ao desenvolvimento do sistema radicular. O custo de recuperação total de uma voçoroca é altíssimo e muitas vezes tecnicamente inviável, portanto, é urgente conter o avanço deste processo que, de forma proporcional a sua extensão, progride na degradação e desbarrancamento.

(ii) Planejamento e metodologia

A recuperação de áreas degradadas por voçorocas requer um levantamento detalhado dos atributos físicos, químicos e biológicos da área. As técnicas de mapeamento incluem sensoriamento remoto, GPS, fotos aéreas ou levantamento planialtimétrico. É crucial observar a insolação e a umidade do solo para selecionar as plantas mais adequadas.

(iii) Etapas do processo de recuperação

1. **Disciplinamento das águas superficiais** - Projetar drenagens com base na avaliação de degradação por processos erosivos.
 - a) **Terraços** - Em desnível para redirecionar o fluxo da enxurrada e reduzir a erosão superficial;
 - b) **Escadas dissipadoras** - Dissipar a energia da água e controlar a erosão causada pelo fluxo hídrico. Em alguns casos podem ser executadas com técnicas de bioengenharia.
2. **Retaludamento e contenção de taludes** - Reduzir a inclinação das encostas para aumentar a estabilidade dos taludes e evitar a progressão da erosão.
 - a) Movimentação de terra e o uso de escavadeiras hidráulicas.
 - b) Ajuste da inclinação das encostas para aumentar a estabilidade geotécnica e facilitar a implantação da cobertura vegetal.
3. **Preparo do solo** - Inclui adubação e calagem para corrigir a acidez do solo, melhorando a fertilidade química.
4. **Cercamento da área** - Isolar a área para proteger contra a intervenção de animais e humanos, promovendo a regeneração natural.
5. **Práticas de bioengenharia**
 - a) **Mix de sementes** - Escolhidas preferencialmente por sua resistência, facilidade de germinação e capacidade de melhorar a estrutura do solo. Exemplos: gramíneas: capim gordura, vetiver e aveia preta; leguminosas: feijão de porco, milheto, feijão guandu; outras: nabo forrageiro.

- b) **Introdução de espécies arbóreas** - Utilização de espécies pioneiras, secundárias e clímax para enriquecer a diversidade e garantir a sustentabilidade da vegetação.
- c) **Paliçadas de eucalipto** - Técnica para estabilizar o solo e prevenir a movimentação dos detritos. Descrito no próximo tópico.

6. **Elaboração de um plano de emergência** - Implementação de um plano para monitorar e responder a emergências relacionadas à estabilidade do talude.

O perfil esquemático do sistema de controle de voçorocas é apresentado a seguir, no qual destaca-se a integração de práticas (Figura 3 e Figura 4).



Figura 3 - Perfil esquemático de sistema de controle de voçorocas usando barraginhas e curvas de nível com cochinchos
 Fonte: Thiago José @tj.digital.art e Fernando Moura Antunes

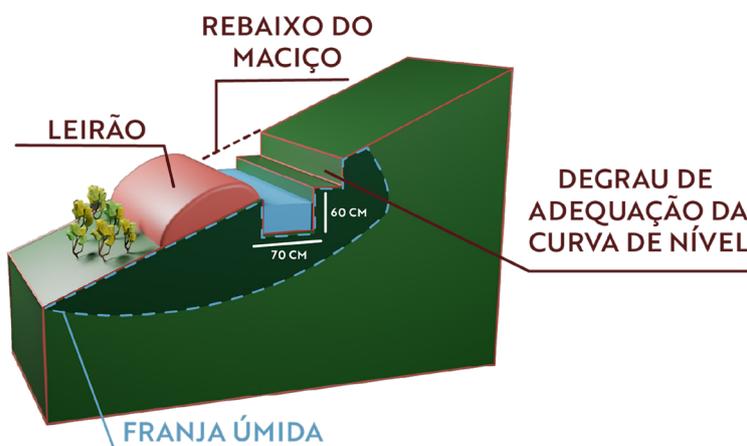


Figura 4 - Perfil esquemático de curva de nível com Cochinhos em corte transversal para 10% e 25% de inclinação
 Fonte: Thiago José @tj.digital.art e Fernando Moura Antunes

(c) Estabilização de taludes e encostas

A estabilização de taludes desempenha um papel crucial no controle da erosão do solo, tanto em projetos de construção civil quanto na recuperação de áreas degradadas. Na construção civil, especialmente em estradas e áreas urbanizadas, taludes instáveis podem levar ao deslizamento de terras, comprometendo a segurança estrutural e funcional de infraestruturas, além de causar danos econômicos significativos e riscos à vida humana (GABR & CAMERON, 2012). Técnicas como a revegetação, o uso de geossintéticos, muros de contenção e drenagens adequadas são essenciais para prevenir a erosão e assegurar a estabilidade dos taludes. Por outro lado, na recuperação de áreas degradadas, a estabilização de taludes é fundamental para a reabilitação de ecossistemas, permitindo o controle da erosão e a restauração da cobertura vegetal, o que melhora a infiltração de água, reduz

o escoamento superficial e promove a recuperação da biodiversidade (MORGAN, 2005). Essas práticas contribuem para a sustentabilidade ambiental e a resiliência dos ecossistemas, prevenindo processos erosivos que podem levar à perda de solo fértil e à degradação dos recursos hídricos.

(i) Reconformação de taludes

A reconformação de taludes é uma prática fundamental na recuperação de áreas degradadas, pois visa restabelecer a estabilidade geomorfológica do terreno, promovendo a regeneração da cobertura vegetal e a mitigação de processos erosivos. A importância dessa técnica reside no fato de que taludes malformados, ou instáveis, são suscetíveis à erosão acelerada, deslizamentos e perda de solo, o que agrava a degradação ambiental e compromete a recuperação dos ecossistemas locais. A reconformação de taludes, portanto, não só restaura a estabilidade física do terreno, mas também cria condições favoráveis para a recuperação ecológica, melhorando a biodiversidade, a qualidade do solo e a sustentabilidade dos recursos hídricos na área degradada.

A reconformação de taludes deve ser realizada seguindo etapas específicas para assegurar sua eficácia. Inicialmente, é necessário realizar um diagnóstico detalhado da área, incluindo análises topográficas e geotécnicas, para compreender as condições do solo e os fatores que contribuem para a instabilidade. A partir desse diagnóstico, a inclinação do talude deve ser ajustada para um ângulo de repouso adequado ao tipo de solo presente, geralmente entre 30° e 45° para solos coesivos e menos para solos não coesivos (SCHWAB et al., 1993).

A seguir, a superfície do talude deve ser modelada para incluir bermas e canais de drenagem que ajudem a reduzir o escoamento superficial e promovam a infiltração de água (GRAY & SOTIR, 1996). É fundamental que para auxiliar nestes aspectos sejam terraços de nível para canalizar a captação de água e dar suporte ao trabalho dos maquinários (ANDRADE et al., 2005). O uso de técnicas de bioengenharia, como o plantio de vetiver, a adequada revegetação com espécies nativas adaptadas (ANDRADE et al., 2005) e a instalação de biomantas ou geossintéticos, é essencial para estabilizar a superfície do solo e promover a formação de uma cobertura vegetal densa e resistente à erosão (GRAY & SOTIR, 1996).

(ii) Sistema de drenagem superficial

O sistema de drenagem superficial visa reduzir a infiltração de águas pluviais ao capturá-las e direcioná-las através de canaletas ou valas revestidas. Estas estruturas são estrategicamente posicionadas ao longo da crista dos taludes ou em banquetas, de forma longitudinal, bem como ao longo das linhas de maior declividade de maneira transversal, garantindo um escoamento controlado da água. Este método é essencial para prevenir a erosão e manter a estabilidade dos taludes (MORGAN, 2005).

4.2 Integração de Práticas

A integração de práticas nos projetos de recuperação de áreas degradadas é fundamental para a obtenção de resultados sustentáveis e reintegração da área à paisagem. Apresenta-se a seguir um exemplo de recuperação de cascalheira degradada (1,5 ha), no município de Várzea da Palma/MG. Para visualizar o processo, consultar: <https://youtu.be/nxIJBG6yyDo>.

1. **Situação antes da intervenção** – Observa-se que a área se apresentava em avançado processo de degradação e formação de voçorocas (Fotos 50 e 51).



Foto 50 - Processo erosivo.
Lauro Bassi



Foto 51 - Formação de voçorocas.
Lauro Bassi

2. **Atividades de reconformação da área** – Incluiu o retaludamento, e reconformação do terreno e a implantação das práticas integradas (Foto 52).



Foto 52 - Atividades em curso.
Gustavo Mahé

3. **Resultados** – Foram implantadas se seguintes práticas: (i) reconformação dos taludes (Foto 53); (ii) Construção de terraços (Foto 54); (iii) construção de barraginhas (Foto 55); (iv) implantação de paliçadas (Foto 56); (v) microcoveamento e semeadura de mix de sementes de gramíneas e leguminosas; (vi) recobrimento de toda a área com biomanta (Foto 57).



Foto 53 - Talude reconformado.
Lauro Bassi



Foto 54 - Terraços construído.
Lauro Bassi



Foto 55 - Barraginhas instaladas.
Lauro Bassi



Foto 56 - Paliçadas instaladas.
Lauro Bassi



Foto 57 - Recuperação concluída (destaque para a integração de práticas).
Gustavo Mahé

5 RECUPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE ESTRADAS RURAIS VICINAIS

A rede brasileira de estradas de rodagem alcança um total de aproximadamente 1,8 milhões de quilômetros, dos quais cerca de 1,4 milhões (77% do total) correspondem a estradas vicinais e rurais de terra (SANTOS et al, 2019).

Muito embora os inúmeros benefícios e as reais necessidades e importância das estradas rurais vicinais, que usualmente apresentam uma escala de intervenção física relativamente pequena na paisagem, usualmente geram impactos ambientais adversos, devidos geralmente, às atividades relacionadas com a construção e manutenção (falta ou inadequada) e ao próprio uso.

5.1 Degradação das Terras Associada às Estradas Rurais Vicinais

As estradas rurais vicinais constituem-se em importantes focos de erosão, produção de sedimentos e de degradação das terras e dos recursos hídricos das microbacias, principalmente ocasionada pelos seguintes fatores:

- A abertura da grande maioria das estradas nas zonas rurais foi executada pelos primeiros moradores locais (em algumas regiões do país, pelos colonizadores) que, orientados pela estrutura fundiária e aproveitando-se das facilidades do terreno, construíram-nas de forma inadequada (sem considerar critérios técnicos em relação ao traçado e ao controle da erosão, dentro de um enfoque sistêmico) levando ao desenvolvimento de fortes processos erosivos associados às estradas rurais vicinais e caminhos internos das propriedades que em muitos casos, constituem-se nos maiores focos de erosão e produção de sedimentos nas microbacias.
- Relação conflituosa entre as estradas e as áreas de seu entorno quanto ao manejo da água pluvial (em especial quanto se trata de áreas de pastagem e de uso intensivo do solo com culturas anuais e olericultura), nas quais, as águas do escoamento superficial é conduzida para as estradas, quando este fluxo deveria ser o contrário: a água das estradas deveriam ser conduzidas para as áreas adjacentes e manejadas de forma a não causar processos erosivos (uso de barraginhas e terraços, por exemplo) e contribuir para uma maior infiltração e aporte de água para estas áreas. A condução das águas ocorre quase sempre ao acaso, sem considerar o planejamento global da área (harmonia na paisagem, diferentes usos das terras e estradas).
- A maioria dos municípios brasileiros gerencia de forma precária a sua malha viária, tanto do ponto de vista do desenvolvimento tecnológico quanto da aplicação de sistemas de controles administrativos e de custos.

5.2 Principais Defeitos nas Estradas Rurais Vicinais

Para compreender o conjunto de estratégias necessários no controle de processos erosivos em estradas vicinais, é necessário compreender os defeitos mais comuns encontrados em estradas rurais. De acordo com Baesso & Gonçalves (2003) e Zoccal & Silva (2016), os seguintes aspectos são os mais relevantes:

- I. **Seção transversal imprópria** - A inadequação da seção transversal compromete a drenagem, levando ao acúmulo de água na pista e acelerando a deterioração do pavimento.
- II. **Drenagem inadequada** - Falhas nos dispositivos de drenagem resultam em acúmulo de água na plataforma, causando erosão e deterioração do pavimento. Em determinadas situações, podem ser caracterizados por atoleiros, que são excesso de umidade em determinado trecho causado por diversos agravantes, tais como lençol freático próximo à superfície, nascente nas

laterais da estrada; excesso de precipitação pluviométrica, sistema de drenagem deficiente e textura do solo ou do material primário argiloso ou muito argiloso.

- III. **Corrugações** - Deformações onduladas que surgem na pista devido ao tráfego contínuo e à perda de finos, criando desconforto e aumentando o desgaste dos veículos. Em alguns casos, tais deformações que causam intensa trepidação são conhecidas por “costela de vaca”, e sua ocorrência está atrelada à erosão no leito da estrada, ou seja, ao adequado funcionamento do sistema de drenagem.
- IV. **Excesso de poeira** - A perda de partículas finas da camada de revestimento gera nuvens de poeira que prejudicam a visibilidade, causam danos à saúde e reduzem a vida útil dos veículos. Além disso, o excesso de poeira pode contribuir nas causas de derrapagem.
- V. **Buracos** - Surgem pela falta de revestimento adequado, má drenagem ou ausência de partículas aglutinantes, resultando em deformações que comprometem a trafegabilidade.
- VI. **Trilha de roda** - Depressões que se formam nas faixas de tráfego devido à repetida passagem de veículos, especialmente em áreas com drenagem inadequada.
- VII. **Perda de agregados** - A passagem intensa de veículos provoca a segregação dos agregados, acumulando material grosso nas bordas e nas trilhas de roda, o que compromete a estabilidade da estrada.

Entende-se que para minimizar e solucionar os problemas de degradação das terras ocasionados pelas estradas rurais vicinais, deve-se adotar uma abordagem baseada no Conceito Ecológico de Estradas Rurais (CEER) que está focada na inserção sustentável das estradas na paisagem com o mínimo de impactos diretos e indiretos sobre os recursos água, solo e biodiversidade e o máximo de benefício/conforto aos usuários. Inclui ainda o suporte técnico para a construção e e/ou recuperação e manutenção de estradas rurais com a participação comunitária. A sustentabilidade ambiental, entendida como a proteção do ambiente, é lograda pelo uso de práticas amigáveis ao meio ambiente.

Assim, a implantação de Melhores Práticas de Manejo (MPM) por parte dos produtores, a partir de um melhor planejamento de uso das terras, conforme sua aptidão e do uso de sistemas de preparo do solo levando em conta princípios conservacionistas (cultivo mínimo e plantio direto); são justificativas suficientes o bastante para a implantação de projetos de melhoramento de todo o sistema viário.

5.3 Premissas Gerais Associadas aos Projetos de Melhoria de Estradas

As características dos projetos de melhoria das estradas rurais vicinais e o conjunto de medidas ambientais associadas objetivam a melhoria da relação da estrada com a paisagem e uma maior sustentabilidade do ponto de vista socioambiental. Destacam-se as seguintes características (que supostamente deveriam nortear) os projetos, do ponto de vista das medidas de proteção ambiental:

- I. Projetos concebidos de forma participativa envolvendo os moradores locais, as instituições prestadoras de assistência técnica rural às comunidades e as prefeituras municipais, para selar acordos visando à seleção das melhores medidas de proteção ambiental.
- II. Intervenções, em sua grande maioria, pontuais em pequenos trechos para aumentar a segurança (como por exemplo, redução de curvas muito acentuadas, ou afastar a estrada de pontos de deslizamentos), corrigir problemas de drenagem e minimizar processos erosivos.
- III. Mudanças de traçado só ocorrem em situações muito especiais e que não envolvam ações correlatas (indenizações, reassentamentos etc.), sendo os projetos focados apenas em intervenções corretivas sobre o traçado existente e consolidado.

- IV. Toda e qualquer obra de engenharia que implique na exposição de solo, deverá ser acompanhada de medida de cobertura vegetal intensiva, através de práticas vegetativas. Sempre que necessário, as práticas vegetativas são integradas com obras físicas, para evitar impacto de gota e do conseqüente processo erosivo.
- V. As medidas de controle ambiental visam, primordialmente, controlar o processo erosivo e corrigir eventuais efeitos de intervenções de engenharia, como o caso de conformação de taludes, visando pequenas retificações e/ou suavização de curvas e obras de drenagem, como o caso de reforma e/ou implantação de bueiros, melhoria de sarjetas e bigodes.

Conclui-se, portanto, que uma estrada está harmoniosamente inserida na paisagem se: (i) estiver localizada em relevo que pode ser facilmente e efetivamente drenado (nem muito íngreme, nem muito plano); (ii) é funcional quando usada como pretendido (classe de veículo, estação do ano e as condições climáticas); (iii) tem características de drenagem adequadas (espaçadas, devidamente situadas e mantidas de forma adequada); (iv) preserva o padrão de drenagem natural do relevo; (v) conserva a água; (vi) não causa ou contribui para a perda acelerada do solo, perda de produtividade ou a poluição da água; (vii) não invade áreas úmidas ou áreas ribeirinhas, e (viii) é agradável do ponto de vista cênico.

5.4 Medidas para Evitar, Mitigar e Compensar Impactos Ambientais

Apresenta-se a seguir as medidas recomendadas para a sustentabilidade das estradas rurais vicinais. Inclui requisitos exigidos, defeitos e soluções no âmbito dos diferentes sistemas que integram as estradas de terra. Além das referências bibliográficas, foram consideradas em especial as seguintes fontes: (i) grande parte das informações tem por base as notas de aula do Prof. Dr. Alfredo Luís Mendes D'Ávila (2002) - Universidade Federal de Pelotas – Faculdade de Engenharia Agrícola – Obras em terra – estradas rurais (não publicado); e (ii) SANTOS, et. al, 2019²⁰.

5.4.1 Geometria

As estradas de terra devem atender a um padrão geométrico que garanta segurança, rapidez e conforto ao usuário que a percorra utilizando a velocidade diretriz, que se constitui na velocidade básica para a dedução das características técnicas da estrada.

(a) Requisitos exigidos

(i) Rampas (subidas)

A rampa não deve ter inclinação expressiva para não provocar redução na velocidade do veículo (Tabela 7). Muitas estradas municipais apresentam trechos com rampas expressivamente maiores do que os requisitos exigidos. Em zonas de relevo forte ondulado a montanhoso existem trechos com rampas da ordem de 20% (Foto 58), normalmente em estradas secundárias e travessões, o que provoca um aumento da degradação e, conseqüentemente, do custo de manutenção. Em grande parte dos casos a redução da inclinação das rampas é impraticável economicamente. Quando as estradas principais estão dispostas no divisor de águas (fio do morro), não apresentam rampas com inclinações expressivas.

20 https://www.abge.org.br/downloads/Miolo_Estradas-Vicinais_vers%C3%A3o_pdf.pdf



Foto 58 - Trecho de estrada com rampa superior a 20%.
Lauro Bassi

(ii) Curvas horizontais

Devem apresentar um raio mínimo (Tabela 7) que permita percorrê-la com segurança, sem a necessidade de reduzir a velocidade diretriz. Também devem apresentar uma inclinação na plataforma, denominada sobre elevação, de tal modo que o peso do veículo produza uma componente que o ajude a fazer a curva. Se houver deficiência na sobre elevação o veículo tende a sair da curva; a sobre elevação elevada (maior do que 5 a 6%) provoca sulcos de erosão transversal (Foto 59). As curvas horizontais podem ser inseguras, mesmo apresentando raio adequado, devido à falta de visibilidade ocasionada pela vegetação ou por barrancos (Foto 60).



Foto 59 - Sulcos transversais
Lauro Bassi



Foto 60 - Curva com visibilidade limitada
Lauro Bassi

(iii) Largura da plataforma

A plataforma deve apresentar uma largura mínima de modo a garantir a segurança do usuário (Tabela 7). Estradas com plataforma estreita são especialmente perigosas quando não há visibilidade a uma distância conveniente ou quando ocorre uma redução abrupta da largura em um determinado trecho.

Tabela 7 - Especificações geotécnicas²¹

Tipo de estrada (tráfego médio diário - TMD)	Velocidade diretriz (km/h)			Raio mínimo de curva horizontal (m)			Rampa máxima (%)			Largura da plataforma (m)		
	PL	ON	MO	PL	ON	MO	PL	ON	MO	PL	ON	MO
Principais: 500 > TMD > 100	80	80	60	127	127	81	4	4	6	7	7	6-7
Secundárias: 100 > TMD > 50	60	60	40	81	81	46	6	6	7	6	6	5,5-6
Travessões: 50 > TMD > 0	Velocidade média: (PL=40; ON= 40; MO=30)			46	46	32	6	6	9	4	4	4

Legenda: PL = Plano; ON = Ondulado; MO = Montanhoso

(iv) Curvas verticais

Devem apresentar uma distância de visibilidade mínima, tanto maior quanto maior a velocidade diretriz. Curvas verticais onde a distância de visibilidade é pequena, (trechos conhecidos como lombas), são particularmente perigosas quando a plataforma é estreita (Foto 56). A correção pode ser relativamente fácil quando o material do terreno não é rochoso, pelo corte do topo da curva, podendo ser utilizado o material removido em aterros ou no revestimento. Em algumas situações, para aumentar a segurança, pode ser feito um alargamento da plataforma.

21 Fonte: D'Ávila, 2002 (não publicado)



Foto 61 - Lomba com plataforma estreita.
Lauro Bassi

(v) Aterros

São construções elevadas, executadas em terras baixas, permitindo que a superfície da estrada atinja uma altura que impeça o acúmulo de água na plataforma (Foto 62). Os materiais utilizados na sua construção não necessitam atender especificações rigorosas, eventuais escorregamentos de taludes ou recalques podem ser corrigidos com relativamente poucos recursos. Não podem ser utilizados solos orgânicos.

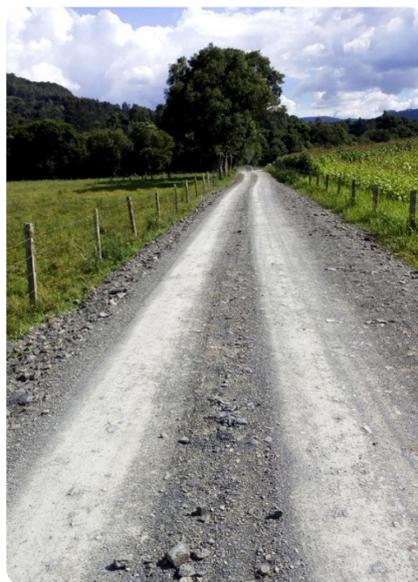


Foto 62 - Aterro (elevação de greide)
Lauro Bassi

(vi) Chanfros

Trata-se da conformação em taludes (inclinação em relação à horizontal 45°), dos barrancos das seções em corte (Foto 63), permitindo o desenvolvimento de vegetação e evitando o desmoronamento. A execução de chanfros também se justifica uma vez que os barrancos verticais transmitem uma sensação de insegurança ao condutor do veículo.



Foto 63 - Talude com plantio de vegetação Lauro Bassi

5.4.2 Sistema de drenagem

Um sistema de drenagem é composto por uma série de instalações, isto é, por conjuntos de dispositivos destinados a captar, escoar e desaguar em lugar seguro toda a água em excesso contida na área em que se encontram. Sendo assim a drenagem pode ser sucintamente definida como o conjunto de intervenções e obras destinadas a remover os excessos de água da superfície e do subsolo. Portanto, a drenagem das estradas trata da remoção da água dentro da própria estrada e do seu encaminhamento adequado para fora desta, evitando assim, que água exerça seu efeito nocivo sobre o pavimento. A drenagem pode ser de dois tipos principais:

(a) Sistema de drenagem profundo

É executado em locais onde ocorre surgência de água do lençol freático – olho d’água, locais normalmente situados na parte inferior da encosta ou em zonas baixas, provocando a ruptura do revestimento (borrachudo). A correção, neste caso, não envolve necessariamente camada de reforço e revestimento primário, sendo o problema resolvido através da execução de dreno profundo de pé de talude. A profundidade do dreno é de cerca de 1,5 m, e o comprimento depende da extensão do trecho problemático. Visualiza-se o dreno profundo na Figura 5.

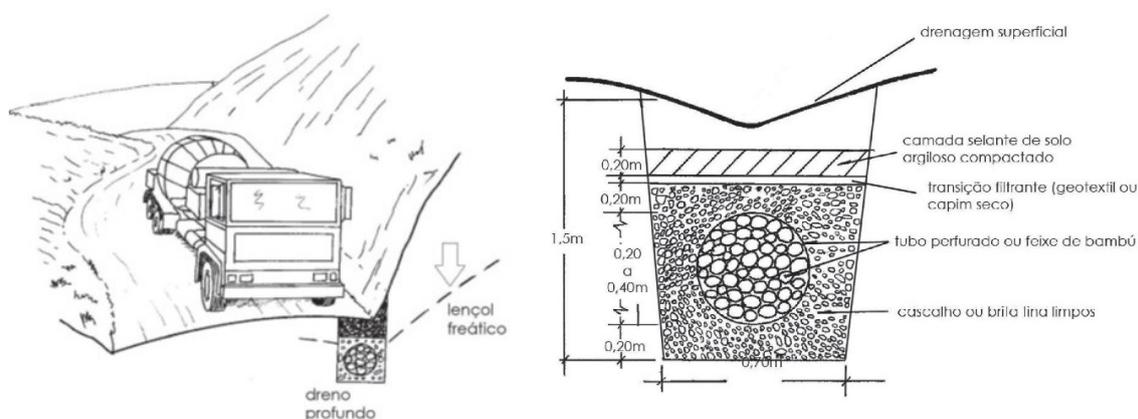


Figura 5 – Dreno profundo.
Fonte: SANTOS et. al, 2019.

(b) Sistema de drenagem superficial

É formado pelo conjunto de dispositivos destinados a recolher e encaminhar adequadamente as águas superficiais e é de extrema importância para a redução da deterioração da malha viária. A avaliação e a correção dos defeitos do sistema de drenagem superficial deve ser a tarefa primordial a ser empreendida pelo responsável pela malha viária de um município. Os elementos do sistema de drenagem superficial são:

(i) *Abaulamento*

Declividade da plataforma (do centro para as laterais) que garante a drenagem da água (Fotos 64 e 65). O valor mínimo a ser utilizado em estradas não pavimentadas é de 3 a 4%. Em estradas com plataforma estreita, onde o veículo utiliza o eixo da estrada, o abaulamento pode chegar a 10%.



Foto 64 - Plataforma com abaulamento.
Lauro Bassi



Foto 65 - Plataforma com abaulamento.
Lauro Bassi

Na Tabela 8 apresenta-se a velocidade máxima aplicada na plataforma, para uma dada precipitação pluviométrica intensa, para diversos abaulamentos e comprimentos de rampa. Os resultados apresentados permitem concluir que quando usado um abaulamento adequado as velocidades na plataforma são baixas, levando apenas a erosão coloidal.

Tabela 8 - Velocidades aplicadas na plataforma²²

Rampa (%)	Abaulamento (%)	Largura da plataforma (m)	Comprimento da rampa (m)	Comprimento percorrido pelas águas (m)	Velocidade na plataforma (m/s)
0	4	8	-	4,0	0,13
10	4	6	50 ou 100	6,7	0,22
10	0	6	50	50,0	0,47
10	0	6	100	100,0	0,63
20	4	6	50 ou 100	15,3	0,36
20	0	6	50	50,0	0,58
20	0	6	100	100,0	0,76

(ii) Valeta lateral (sarjeta)

Dispositivo instalado para a condução da água na parte lateral da plataforma da estrada (Fotos 66 e 67). Em terrenos planos e baixos, a valeta lateral deve apresentar largura expressiva visando a armazenar, por um período, a água recebida da plataforma.

Foto 66 - Sarjeta sem revestimento vegetal)
Lauro Bassi



Foto 67 - Sarjeta vegetada
Lauro Bassi

(iii) Desaguadouro, sangra ou bigode

Estrutura responsável pela condução da água da valeta lateral para a área externa da estrada (Foto 68). Devem estar espaçados entre si a uma distância que depende da inclinação da rampa, de modo a não haver concentração do fluxo (Tabela 9). O desaguadouro ou bigode também pode ser visualizado na Figura 6.



Foto 68 - Desaguadouro (bigode).
Lauro Bassi

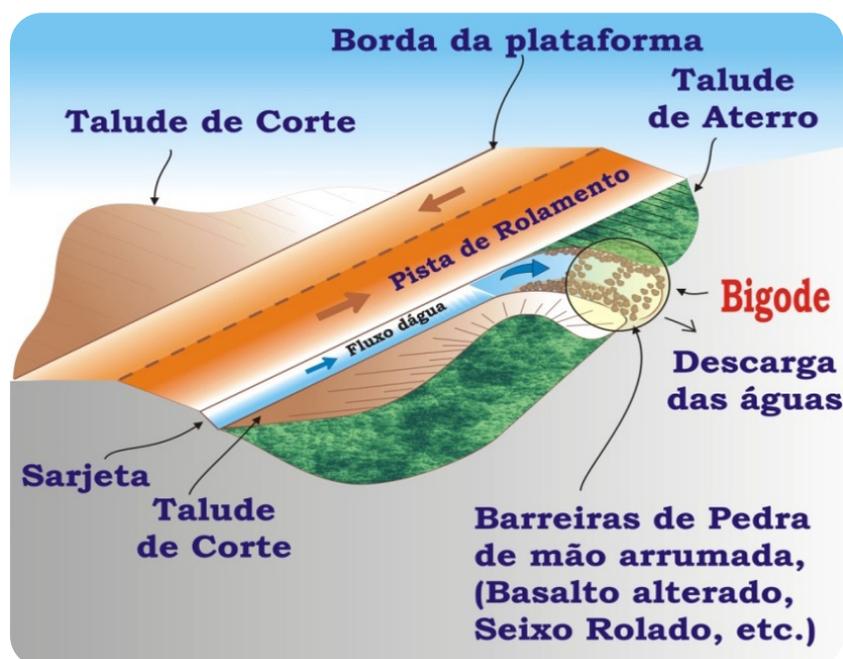


Figura 6 – Visualização do desaguadouro ou bigode.
Fonte: BAESSO & GONÇALVES, 2003

Tabela 9 - Espaçamento entre desaguadouros ou bigodes em função da declividade da rampa²³

Declividade da rampa (%)	Espaçamento (em metros)
< 1	50
1 a 2	40
2 a 5	25
5 a 10	15
> 10	10

Apresenta-se na Tabela 10, as velocidades máximas de escoamento aplicadas na valeta lateral, para uma dada precipitação pluviométrica intensa, para diferentes inclinações da rampa e espaçamento entre os desaguadouros ou bigodes. Fica evidente a importância do espaçamento entre desaguadouros ou bigodes para a redução da velocidade que a água atinge nas valetas laterais.

Tabela 10 - Velocidade máxima do escoamento (m/s) em valetas laterais
(plataforma 8 m, abaulamento 4%²⁴)

Rampa (%)	Espaçamento dos desaguadouros/bigodes (m)						
	5	10	20	50	100	150	200
1	0,388	0,461	0,545	0,676	0,790	0,862	0,915
5	0,711	0,844	1,002	1,252	1,474	1,617	1,724
10	0,922	1,096	1,301	1,628	1,922	2,112	2,256
20	1,196	1,421	1,689	2,116	2,503	2,756	2,947

Apresenta-se na Tabela 11 a velocidade admissível em valetas para diferentes tipos de solos. O estudo não foi desenvolvido para solos tropicais, havendo carência, na literatura técnica, de informações aplicáveis a nosso meio. Máximas velocidades admissíveis em canais revestidos são apresentadas na Tabela 12. Para garantir a presença de vegetação nas valetas é necessário promover mudanças

²³ Fonte: D'Ávila, 2002 (não publicado)

²⁴ Fonte: D'Ávila, 2002 (não publicado)

profundas na estratégia técnica de conservação e manutenção das estradas, com a supressão do serviço de patrolamento.

Tabela 11 - Velocidade admissível recomendada por Fortier e Scobey²⁵

Tipo de solo	Velocidade (m/s)	
	Água limpa	Água com colóides
Franco arenoso, não coloidal	0,53	0,76
Franco siltooso, não coloidal	0,61	0,91
Argila dura, muito coloidal	1,14	1,52
Areia fina, coloidal	0,46	0,76
Pedregulho fino (2 a 5 mm)	0,76	1,52
Pedregulho médio (5-10 mm) e grosso (10 a 100 mm)	1,20	1,80

Tabela 12 - Máximas velocidades admissíveis em canais revestidos²⁶

Material	Velocidade (m/s)
Grama (declive de 0 a 5%)	2,40 – 1,80
Grama (declive de 5 a 10%)	2,10 – 1,50
Grama (declive acima de 10%)	1,80 – 1,20

Use o valor maior para solos resistentes à erosão e o valor menor para solos facilmente erodíveis

Na Tabela 13 apresenta-se uma avaliação qualitativa da erodibilidade, na condição compactada, dos solos peculiares de regiões tropicais úmidas.

Tabela 13 - Erosão em valetas dos grupos da classificação MCT²⁷

Grupo MCT	NA	NA'	NS'	NG'	LA	LA'	LG'
Compactado	E	E, M	E	B, M	M, E	B	B

Legenda: Grupo: L – comportamento laterítico (latossólico); N – comportamento não laterítico; A – areia; A' – arenoso; G' – argiloso e S' – siltooso. Abreviaturas: B = baixa; M = média; E = elevada; NS' - Solos com fração fina tipo "C"; NG' - Solos com fração fina tipo "A"; NA' – Solos arenosos com fração fina tipo "A" ou "C" (saibros).

(iv) *Bacia de captação ou retenção (barraginha)*

Possui a função de captar, reter e infiltrar o excesso de água das estradas (Foto 69), favorecendo o abastecimento do lençol freático. Podem ser construídas somente em solos profundos (solos lateríticos), de permeabilidade elevada, e em declividades inferiores a 20%.

NOTA: Maiores informações sobre o uso de barraginhas associadas às estradas, constam no **Capítulo 3** deste manual.

(v) *Valeta de proteção*

Pequenos canais abertos próximos à crista do talude de corte, ou de aterro, cuja função é a de proteger a estrada dos efeitos erosivos das águas que contribuem à plataforma. A valeta de proteção pode ser visualizada na Figura 12.

25 Os valores de Fortier e Scobey foram recomendados para uso em 1926 pelo Comitê Especial de Pesquisa em Irrigação da Sociedade Americana de Engenheiros Civis.

https://www.researchgate.net/figure/8-Permissible-Canal-Velocities-Fortier-and-Scobey-1926_tbl7_235121161

Fonte: D'Ávila, 2002 (não publicado)

26 Fonte: D'Ávila, 2002 (não publicado), baseado em MICHELIN, R.G. 1973

27 Fonte: D'Ávila, 2002 (não publicado), baseado em NOGAMI & VILLIBOR, 1995



Foto 69 - Barraginha.
Fernando Moura Antunes

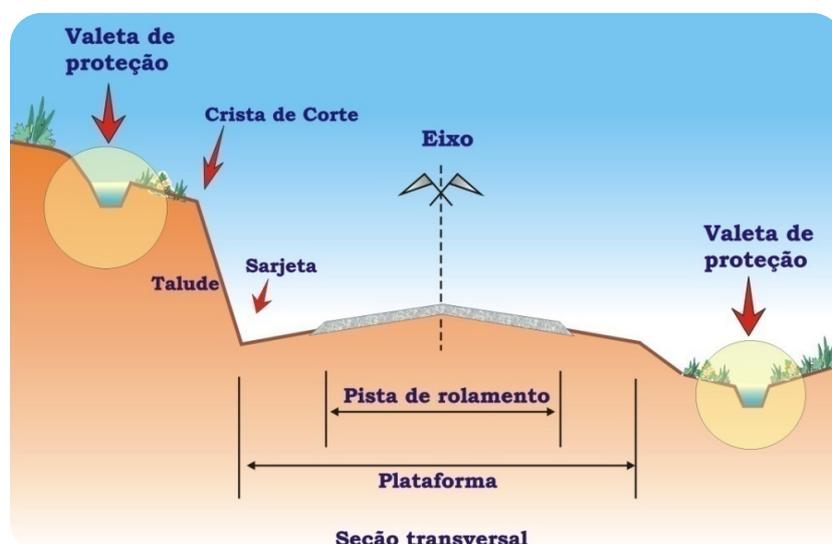


Figura 7 – Visualização da valeta de proteção.
Fonte: BAESSO & GONÇALVES, 2003.

5.4.3 Defeitos em sistema de drenagem

Apresenta-se, a seguir, os defeitos que ocorrem corriqueiramente no sistema de drenagem e os defeitos ocasionados:

(a) Deficiência de abaulamento

Em muitos casos **não é executado** um abaulamento adequado em virtude do temor de que a falta de aderência conduza os veículos para a valeta lateral. Nestas condições, quando a rampa apresenta pequena inclinação desenvolvem-se panelas (Foto 70) ou sulcos de erosão transversal à plataforma (costeletas) próximos à borda (Foto 71). Quando a rampa apresenta inclinação significativa, a implementação de um abaulamento adequado garante a retirada da água da plataforma, evitando que esta forme sulcos de erosão longitudinal (Foto 72).



Foto 70 - Painelas
Lauro Bassi



Foto 71 - Costeletas
Lauro Bassi



Foto 72 - Erosão
Lauro Bassi

(b) Erosão na valeta lateral

A concentração de fluxo de água (falta de desaguadouros/bigodes) e a falta de vegetação na valeta lateral possibilitam a formação de processos erosivos na valeta lateral (Foto 73).



Foto 73 - Erosão na valeta (sarjeta)
Lauro Bassi

(c) Água parada na valeta lateral (sarjeta)

A valeta deve apresentar declividade suficiente de modo a não permanecer água parada na mesma (Foto 74). Em trechos planos, onde o escoamento é mais lento, conforme anteriormente destacado, as valetas devem ser maiores para garantir que armazenem um volume maior de água.



Foto 74 - Água empoeçada
Lauro Bassi

(d) Obstrução da valeta lateral (sarjeta)

Devido à presença de afloramentos rochosos (Foto 75) ou devido à inexistência de bueiros na entrada das propriedades (Foto 76) pode ocorrer a obstrução das valetas levando ao desvio da água para a plataforma, ocasionando a erosão e degradação do corpo estradal.



Foto 75 - Afloramento rochoso
Lauro Bassi



Foto 76 - Acesso a propriedade
Lauro Bassi

(e) Formação de leira

Material colocado na borda da plataforma impedindo a drenagem desta (Foto 77). A colocação de tal material ocorre quando do patrolamento ou quando da limpeza das valetas laterais.



Foto 77 - Presença de leira
Lauro Bassi

(f) Deficiência de bueiros

Em muitos locais, devido à falta de bueiros, a água passa de um lado para o outro da estrada provocando sulcos de erosão transversal (Foto 78).



Foto 78 - Falta de bueiro
Lauro Bassi

(g) Defeitos em bueiros

Os bueiros devem ter dimensões compatíveis com as vazões máximas de projeto. Os elementos constitutivos mínimos de um bueiro são: (i) cabeça - mureta vertical a montante e jusante para proteger o aterro (Foto 79); (ii) caixa coletora (para bueiro de greide) que recebe a água da valeta lateral e conduz ao bueiro (Foto 80); e (iii) boca de saída e laje - para evitar a formação de buraco que possa desestabilizar a cabeça e colapsar o bueiro (Foto 81).



Foto 79 - Mureta
Lauro Bassi



Foto 80 - Caixa coletora
Lauro Bassi



Foto 81 - Boca de saída
Lauro Bassi

(i) Assoreamento

Obstrução do bueiro por material sólido, geralmente proveniente da erosão da plataforma ou da valeta lateral que conduz a água até o bueiro. O assoreamento também é provocado pela erosão nas áreas lindeiras (a montante da estrada) e o escoamento superficial que transporta o sedimento até a estrada e aos bueiros.

(ii) Chupão

Cratera aberta, no corpo do aterro, devido ao carreamento de solo pela junta dos bueiros. Para evitar o surgimento de chupões tem-se utilizado, com sucesso, o envolvimento dos bueiros com manta geotextil, ao longo de todo o perímetro externo.

(iii) Erosão a jusante do bueiro

Desmoronamento da cabeça do bueiro, do próprio bueiro e até mesmo do corpo do aterro devido à falta de dissipador de energia a jusante do bueiro (Foto 82).



Foto 82 - Erosão a jusante do bueiro.
Lauro Bassi

(iv) Ruptura da cabeça

Comprometimento, total ou parcial, da integridade estrutural da cabeça do bueiro.

(v) Vegetação e galhos

Obstrução do bueiro por vegetação e galhos.

(vi) Trincamento de bueiros

Ruptura de tubos devido à má qualidade de fabricação, ou à pequena camada de cobertura de solo que deve ser de no mínimo 0,5 metro.

5.4.4 Revestimento

O material usado para revestimento deve apresentar as seguintes características principais:

- d) **Dimensão dos agregados** - Para evitar uma acentuada irregularidade da plataforma não deve conter agregados com dimensões maiores do que 35 mm.
- e) **Suporte** - Não deve romper pela ação do tráfego.
- f) **Aderência** - Deve apresentar atrito adequado com os pneus dos veículos.
- g) **Abrasão** - Não deve sofrer desgaste devido ao atrito com os pneus dos veículos.
- h) **Erosão** - Não deve sofrer processos erosivos pela ação das águas.
- i) **Resistência dos agregados** - Os agregados devem apresentar resistência mecânica adequada de modo a não romperem quando submetidos as cargas dos veículos.
- j) **Intemperismo** - Os agregados devem ser resistentes ao desgaste provocado pelos ciclos de secagem e umedecimento.

As características: abrasão, erosão, resistência de agregados e intemperismo, estão associadas a durabilidade do revestimento.

As especificações técnicas, acerca de materiais a serem usados no revestimento, não apresentaram praticamente nenhuma evolução desde a década de 30, sendo que as especificações tradicionais para revestimento, desenvolvidas em regiões temperadas do hemisfério norte, incluem uma faixa de valores para a granulometria e para os limites de Atterberg (limites de liquidez e plasticidade). Em período

posterior ocorreram publicações, aplicáveis a países da África tropical úmida, referentes a utilização de pedregulhos lateríticos, cujos fração fina apresentam, *muitas vezes*, comportamento laterítico (fração fina tipo "B"). Nestas últimas especificações é permitido uma maior quantidade de fração fina, procurando atender a diferença de comportamento dos finos lateríticos (não expansivos).

Nenhuma das especificações citadas considera, de forma adequada, os finos peculiares de regiões tropicais úmidas (frações finas tipo "B" e "C") nem a questão da durabilidade. Essas especificações não se adequam aos solos peculiares de regiões tropicais úmidas pelo que segue:

- a) Os solos lateríticos (latossólicos) argilosos (fração fina tipo "B"), embora não atendam as faixas granulométricas propostas, constituem excelentes materiais para revestimento, apresentando suporte adequado e alta resistência à abrasão e à erosão. A única deficiência diz respeito a aderência em dias chuvosos, cuja correção é possível mediante a colocação de uma camada de agregado de dimensão adequada.
- b) Os solos saprolíticos siltosos (fração fina tipo "C"), embora eventualmente atendam as especificações não apresentam resistência à abrasão na condição úmida (velocidade de expansão alta) nem na condição seca (maior parte apresenta baixa resistência a seco).

Na Tabela 14, apresenta-se uma especificação para avaliação de materiais a serem utilizados no revestimento, fundamentada em ensaios muito simples, como o método das pastilhas, resistência a seco e na avaliação da presença de argila coloidal. Tal especificação desenvolve, nos técnicos, a capacidade de observar propriedades diretamente vinculadas ao comportamento dos materiais no revestimento. Está implícito que as condições de drenagem devem ser adequadas, ou seja, não deve existir água empoçada na plataforma.

Tabela 14 - Especificação tentativa de materiais para revestimento²⁸.

Percentagem retida na peneira 40 (0,42 mm) < 25% ²⁹			
Penetração ≤ 2 mm (fração fina tipo "B" ou transicional)			Penetração > 2 mm (frações finas tipo "A" ou "C")
Contração diametral > 0,90 mm	Contração diametral entre 0,55 e 0,90 mm	Contração diametral < 0,55 mm	
<i>MATERIAL ADEQUADO</i> solos mais argilosos apresentam <i>SABÃO</i>	<i>MATERIAL ADEQUADO</i>	<i>MATERIAL ADEQUADO</i> desde que a resistência a seco do material passado na peneira 4 (4,8 mm) seja alta. Em caso contrário forma <i>AREIÃO</i>	<i>MATERIAL INADEQUADO</i> forma <i>ATOLEIRO</i>
Percentagem retida na peneira 40 (0,42 mm) > 25 %			
Baixa resistência a seco material passado na peneira 4 (4,8 mm)	Alta a média resistência a seco material passado na peneira 4 (4,8 mm)		
	Material passado na peneira 40 (0,42 mm)		
	Penetração ≤ 2mm (fração fina tipo "B" ou transicional)	Penetração > 2 mm	
		Expansão elevada e rápida (fração fina tipo "C")	Expansão lenta (fração fina tipo "A")
<i>MATERIAL INADEQUADO</i> , devido a <i>BAIXA DURABILIDADE</i>	<i>MATERIAL ADEQUADO</i> , <i>durabilidade menor quando resistência a seco média</i>	<i>MATERIAL INADEQUADO</i> , devido a <i>BAIXA DURABILIDADE</i>	Avaliar: · Especificação granulométrica tradicional; · Presença de argila coloidal; NOTA: Durabilidade menor quando resistência a seco média

A especificação de materiais de revestimento foi fundamentada nos seguintes princípios:

Percentagem retida na peneira 40 (0,42 mm) < 25%

Neste caso o suporte é governado pela fração fina. O único fino que serve é a fração fina tipo "B"; em grande quantidade pode causar deficiência de aderência na condição úmida, em quantidade pequena pode carecer de resistência a abrasão (baixa resistência a seco).

Percentagem retida na peneira 40 (0,42 mm) > 25%

- I. Elimina-se inicialmente os solos de baixa resistência a seco (baixa resistência à abrasão na condição seca).
- II. Avalia-se o tipo de fração fina:
 - Solos com fração fina tipo "B" ou transicionais são aceitos (suporte adequado, elevada resistência à erosão e à abrasão quando úmidos);
 - Solos com fração fina tipo "C" não servem devido a velocidade de expansão rápida (baixa resistência a abrasão quando úmidos);
 - Solos com fração fina tipo "A" só servem se tiverem uma distribuição granulométrica adequada, de tal modo que a expansão dos finos não comprometa o suporte do material

²⁸ Fonte: D'Ávila, 2002 (não publicado)

²⁹ Se enquadram neste grupo, os materiais cuja parte retida na peneira 40 (0,42 mm) sofre degradação expressiva com o intemperismo (molhagem-secagem), ou quebra, ou desintegra-se com esforço mínimo.

como um todo. Neste caso, deve-se tomar cuidado para os finos presentes não sejam sujeitos a erosão coloidal.

5.4.5 Defeitos em estradas e as soluções propostas

Apresenta-se na Tabela 15, os defeitos que ocorrem no revestimento das estradas municipais e a respectiva proposta de solução.

Tabela 15 - Defeitos em estradas rurais vicinais e soluções propostas³⁰

Defeito	Descrição	Solução proposta
Atoleiro ou borrachudo (defeito crítico)	Ruptura do material devido à deficiência de suporte (argilas expansivas – fração fina tipo "A") e/ou deficiência do sistema de drenagem	Em regiões planas, com baixo volume de trânsito (menos de 20 veículos/dia) pode ser colocada camada de areia grossa e pedregulho (espessura da ordem de 3 cm) sobre o solo argiloso. Nestes casos, a mistura ocorre naturalmente com a passagem dos veículos. Na região das argilas pretas utiliza-se uma espessa camada de calcáreo britado.
Sabão (defeito crítico)	Deficiência de aderência em dias chuvosos de material que apresenta bom suporte.	Agulhamento, cravação de material granular grosseiro, natural ou produto da britagem de rocha sã.
Pedras	Pedras de grande dimensão no revestimento.	Utilização de pequenos britadores móveis ou do equipamento australiano Rockbuster que passa ao longo da plataforma recolhendo e britando as pedras de grande dimensão.
Afloramentos	Afloramentos rochosos expostos na plataforma devido a ação de processos erosivos ou devido a patrolamento.	Corte manual ou com equipamento pneumático.
Areião	Materiais arenosos de granulometria uniforme sem liga (baixa resistência a seco). Uma espessura significativa do material fica solto em cima da plataforma prejudicando as condições de trafegabilidade, tanto na condição seca quanto na condição saturada. Logo após uma precipitação pluviométrica leve a plataforma fica firme, graças a ação da capilaridade.	Executar o revestimento primário na modalidade mistura de argila com a areia do leito na proporção de 1:2,5. Mistura a materiais com liga, não expansivos (fração fina tipo "B").
Segregação lateral	Partículas dos saibros sem liga (baixa resistência a seco) são jogadas para os lados do rodeiro. Diferencia-se do areião pelo fato do material permanecer firme sobre os rodeiros.	Executar o revestimento primário na modalidade mistura de argila com a areia do leito na proporção de 1:2,5. Mistura a materiais com liga, não expansivos (fração fina tipo "B").
Panelas	Expulsão de partículas sólidas, quando da passagem de veículos, em local em que há empoçamento de água devido a rampa de pequena inclinação e/ou deficiência de abaulamento.	Quando as panelas ocorrerem pontualmente pode ser feito o tapa-buraco, quando de forma disseminada pode-se colocar material com liga ao longo do eixo reconfirmando a plataforma de modo a conferir abaulamento.
Costeletas	Ondulações transversais à estrada causando violenta trepidação aos veículos. A presença de costeletas está associada à presença de materiais sem liga no revestimento.	Substituição do material sem liga superficial.

Defeito	Descrição	Solução proposta
Pista seca derrapante	Material granular solto em cima da plataforma, fruto da lavagem dos fração fina de um saibro, ou da colocação de uma espessa camada de brita.	Substituição do material sem liga superficial.
Erosão	Provocada pelo escoamento superficial e pela água da drenagem da rodovia (defeito crítico, sendo um dos principais problemas relacionados com a degradação as estradas rurais vicinais e seu entorno).	Materiais mais resistentes a processos erosivos, melhoria das condições de drenagem.
Excesso de pó	Formação de nuvens de poeira na época de seca, colocando em risco a segurança do tráfego devido à falta de visibilidade, reduzindo a vida útil dos motores dos veículos e afetando a saúde dos moradores lindeiros.	Uma das melhores correções para esse problema, é um revestimento primário selante. No caso de solos finos o problema se agrava, pois a formação de poeira é mais intensa e a capacidade de suporte deste material é baixa. Neste caso, além do revestimento primário, é necessário o reforço do subleito.

Um resumo das características geológicas, ocorrência de materiais e defeitos do revestimento é apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 - Características geológicas, ocorrência de materiais e defeitos do revestimento³¹

Geologia	Ocorrência de materiais	Defeitos do revestimento
Sedimentos arenosos e argilosos	Quando argilosos são expansivos.	(i) Arenosos – areião, costeleta, panela (ii) Argilosos – suporte
Arenitos, siltitos, argilitos e folhelhos	Arenitos – solo laterítico de espessura variável entre 1 a 3 metros, sobrejacente a solos saprolíticos.	Arenitos: (i) Solos saprolíticos (areião, costeleta) (ii) Solos lateríticos (sabão)
Basaltos	Horizonte laterítico que pode atingir até 20 metros de profundidade.	Sabão
Basaltos, arenitos, argilitos, siltitos e folhelhos	Na região de basalto ocorrem solos de pequena espessura sobrejacentes a basaltos decompostos; na região de arenitos, argilitos, siltitos e folhelhos encontram-se solos argilosos com o predomínio de argilominerais expansivos.	(i) Argilitos, siltitos e folhelhos – atoleiro (ii) Basalto – pedras
Granitos, gnaisses, xistos, quartzitos e andesitos	Solos com pequena espessura; o horizonte C é constituído de solos saprolíticos (ocorrências de saibros).	(ii) Afloramentos (ii) Saibros arenosos: desestabilização, erosão (iii) Saibros argilosos vermelhos: excelentes (sabão?) (iv) Materiais siltosos e argilosos expansivos: atoleiro
Granitos, gnaisses, xistos, quartzitos e andesitos	Horizonte laterítico de espessura variável entre 1 e 3 metros, sobrejacente a solos argilosos saprolíticos.	Solos lateríticos – sabão
Basaltos	Solos com pequena espessura sobrejacentes a basaltos decompostos.	Afloramentos e pedras

31 Fonte: D'Ávila, 2002 (não publicado)

Geologia	Ocorrência de materiais	Defeitos do revestimento
Basaltos, riolito-dacito	Desde solos com pequena espessura até solos com horizonte laterítico com espessura em torno de 1 metro.	-
Basaltos, riolito-dacito e localmente por arenitos	Horizonte laterítico que pode atingir até 20 metros de profundidade.	Sabão
Basaltos e localmente por arenitos	Solos com pequena espessura sobrejacentes a basaltos decompostos.	Afloramentos e pedras

5.5 Serviços de Manutenção em Estradas Municipais

Os serviços de manutenção podem ser subdivididos em três categorias: **manutenção de rotina**, **manutenção periódica** e **manutenção de emergência**. A manutenção de rotina inclui as atividades que apresentam um ciclo regular, semanal ou mensal, diferenciando-se da manutenção periódica que inclui atividades que podem ser executadas depois de um número de anos. A manutenção de emergência é realizada para recolocar em condições de trafegabilidade uma determinada estrada.

O patrolamento constitui exemplo de serviço de manutenção de rotina, enquanto o ensaibramento e o encascalhamento constituem exemplos serviços de manutenção periódica. O conserto de um bueiro, que impeça a trafegabilidade, é exemplo de serviço de manutenção de emergência. Do ponto de vista da oportunidade de execução dos serviços a manutenção pode ser dividida em: manutenção por demanda e manutenção preventiva.

Apresenta-se na Tabela 17, a produtividade de equipamentos e mão de obra utilizados nos serviços em estradas não pavimentadas e, na Tabela 18, os equipamentos e ferramentas utilizados pelos métodos baseados em mão de obra e em equipamentos.

Tabela 17 - Produtividade de equipamentos e mão de obra³²

Atividade	Produtividade	
	Equipamentos	Mão de obra
Limpeza e abertura de valetas (*)	Boa	Boa
Limpeza e pequenos reparos de bueiros e pontes	Ruim	Boa
Controle de erosão	Ruim	Boa
Perfilagem	Boa com treino§	Impraticável
Tapa-buraco	Ruim	Boa
Roçada	Boa (**)	Boa
Encascalhamento	Boa	Regular

(*) Produtividade depende do projeto apropriado de valeta.
(**) Produtividade depende da largura do acostamento e da presença de obstáculos tais como acessórios rodoviários e bueiros.
§ A expressão "com treino" implica que o treinamento específico de operadores é essencial.

Tabela 18 - Equipamentos utilizados na manutenção de estradas³³

Atividade	Métodos baseados em mão de obra	Métodos baseados em equipamentos
Nivelamento e regularização do revestimento	Pás, ancinho e nivelador	Motoniveladora, nivelador rebocado
Carregamento, transporte e espalhe do pedregulho		
Até 100 m	Pás, carrinho de mão	Pá carregadeira
100 – 500 m	Reboque carregado manualmente	Caminhão basculante, scraper
+ 500m	Reboque carregado manualmente	Caminhão basculante carregado com escavadeira
Escavar solo ou rocha	Picareta, alavanca de ferro e broca manual para rocha	Escavadeira de esteira ou de pneu, ripper, scraper,
Compactar solo ou pedregulho	Soquete manual ou placa vibratória	Rolo compactador autopropelido ou rebocado
Limpeza de drenos	Pás, ancinho	Escavadora hidráulica, motoniveladora, equipamento especializado de limpeza
Corte da vegetação	Facões, pulverizador	Motoserra, pulverizadores mecânicos

5.5.1 Principais serviços de manutenção

Os principais serviços de manutenção, executados no revestimento das estradas municipais são avaliados a seguir:

a) Patrolamento

Correção da irregularidade da plataforma com o uso de motoniveladora. O procedimento para a sua execução inicia junto à borda da plataforma, colhendo material da valeta lateral (material que servirá para preencher as irregularidades da plataforma). Este material deve possuir liga, os materiais depositados por sedimentação costumam ser desprovidos de liga, não sendo adequada a sua utilização. O patrolamento, ao remover material da valeta lateral, impede o desenvolvimento de vegetação e, em consequência, a estabilização do sistema de drenagem frente a processos erosivos. O patrolamento, na maior parte das situações, é feito sem que se tenha claro a gênese dos defeitos. Material do revestimento apresentando pedras de grandes dimensões e sulcos longitudinais em rampas com inclinação acentuada e sem abaulamento, constituem exemplos de problemas do revestimento que mereceriam trabalhos corretivos.

Proposição de solução - A sistemática correção da gênese dos defeitos, ao possibilitar a redução da necessidade de manutenção, permite pensar na possibilidade de substituir o patrolamento como técnica principal de manutenção. Uma possibilidade seria a realização da manutenção utilizando tapa-buraco e correção manual de defeitos do sistema de drenagem. Tal proposta permitiria o desenvolvimento de vegetação no sistema de drenagem e ausência de material solto na plataforma, trazendo consigo uma redução da produção de sedimentos. Tal possibilidade está sendo implementada em alguns municípios. O resultado tem sido positivo, mas deve-se deixar claro que é um processo lento de mudança da cultura, havendo necessidade, inclusive, de desenvolvimento de técnicas e equipamentos.

b) Encascalhamento

Colocação de camada de material pétreo natural, com dimensão média maior do que 40 mm, sob o material natural, com o objetivo de corrigir a deficiência de aderência ou irregularidade. Um exemplo,

³³ Fonte: D'Ávila, 2002 (não publicado)

de aplicação generalizada em determinados municípios (em especial no sul do Brasil), é a utilização dos Basaltos Decompostos (BDs), rocha basáltica alterada. Sua utilização é feita de duas formas:

- I. Os BDs que apresentam boa resistência mecânica e elevada durabilidade quando submetidos as intempéries (cascalho duro), são colocados sobre a argila vermelha (argila laterítica), para corrigir a deficiência de aderência.
- II. Os BDs de baixa resistência mecânica e baixa durabilidade (cascalho mole ou moledo), são utilizados em atividades de manutenção periódica, para reduzir a irregularidade da plataforma provocada por agregados de grandes dimensões, provenientes dos BDs anteriormente colocados, ou de afloramentos que ocorram na plataforma.

NOTA: Os BDs quando submetidos a ciclos de secagem-umedecimento, sofrem degradação. Há uma grande variabilidade de durabilidade, desde perdas pouco expressivas (cascalho duro) até situações em que praticamente todo o material se desagrega (cascalho mole). Dessa característica dos cascalhos moles, resulta uma expressiva produção de sedimentos e necessidade de permanente reposição de material. Em média os cascalhos moles são repostos num período compreendido entre seis e vinte e quatro meses, dependendo do volume de tráfego da estrada.

c) Ensaibramento

Colocação de camada de saibro com o objetivo de corrigir a deficiência de aderência e/ou suporte. Na prática o termo saibro abrange um espectro de materiais bastante amplo, desde materiais praticamente sem liga (baixa resistência a seco), até materiais cuja presença de argilominerais é suficiente para conferir liga.

Os materiais sem liga sofrem desgaste na plataforma devido a associação de dois processos: o primeiro, em época seca, devido a abrasão do tráfego, que deixa soltas as partículas não coesivas; o segundo, devido a erosão destas partículas provocada pela precipitação pluviométrica. Quanto aos materiais com liga, pode-se dizer que estes podem apresentar deficiência de suporte e erosão coloidal da fração fina.

- I. Em relevo forte ondulado a montanhoso, criando condições para a existência de rampas de grande inclinação que associadas a um abaulamento pouco expressivo, condição usual, conduz a **intensos processos erosivos na plataforma**. Os processos erosivos em valetas costumam também ser extremamente significativos. Os saibros são utilizados nesta região para corrigir deficiência de suporte e/ou aderência, sulcos longitudinais de erosão, cobrir afloramentos rochosos etc.
- II. Em relevo ondulado a suave ondulado, que conseqüentemente apresentam processos erosivos na plataforma significativamente menores do que em relevos forte ondulados, a montanhosos, os saibros são utilizados para corrigir a deficiência de suporte e/ou a falta de aderência do material local.

NOTA: Os rendimentos de máquinas e os custos estão indicados na Tabela 1 deste manual.

5.5.2 Avaliação da sustentabilidade ambientais de estradas rurais vicinais

No **Anexo B do VOLUME 5**, apresenta-se uma proposta de metodologia para avaliar a sustentabilidade ambiental de estradas rurais, que já foi aplicada em melhorias de estradas rurais vicinais no projeto SC Rural em Santa Catarina e no projeto Rio Rural, no Rio de Janeiro. O Anexo B do VOLUME 5 pode ser encontrado na página do Programa Produtor de Água através do link <https://www.>

[gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua/colecao-documentos-relacionados-produtor-de-agua](https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua/colecao-documentos-relacionados-produtor-de-agua).

5.5.3 Sistema de gerenciamento de estradas municipais

Com base em D'Ávila, 1996, apresenta-se no **Anexo C do VOLUME 5** um sistema de gerenciamento de estradas municipais. O Anexo C do VOLUME 5 pode ser encontrado na página do Programa Produtor de Água através do link <https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua/colecao-documentos-relacionados-produtor-de-agua>.

REFERÊNCIAS

- ALI, Y. A. et al. **Balances of a contour bench terracing system in a semi-arid cultivated zone (El Gouazine, central Tunisia)**. Hydrological Sciences Journal, v. 53, n. 4, p. 883-892, 2008.
- ALI, Y. A.; TOUMA, J.; ZANTE, P.; NASRI, S.; ALBERGEL, J. **Comparative analysis of the performance of mixed terraces and level and graded terraces**. SciELO Brazil, 2011.
- ANDRADE, A. G. de, PORTOCARRETO, H., & CAPECHE, C. L. 2005. **Práticas mecânicas e vegetativas para controle de voçorocas**. Embrapa Solos. Comunicado Técnico, 33.
- ANJOS, A. F.; OLIVEIRA, M. R.; SANTOS, J. L. **Subsolagem e conservação do solo: impactos físicos e ambientais**. Boletim Técnico de Manejo do Solo, v. 3, n. 1, p. 12-25. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2000.
- ARMAC. **Custo operacional de máquinas**. São Paulo: Armac, 2023. Disponível em: <https://armac.com.br/blog/gestao/custo-operacional-de-maquinas/>. Acesso em: 10 out. 2024.
- BACK, A. J.; WILDNER, L. do P. **HidroTerraço 1.0 - Programa para cálculos hidrológicos e dimensionamento de estruturas de conservação do solo e da água em áreas agrícolas**. Florianópolis: Epagri, 2022, 124p. (Epagri. Documentos, 348).
- BAESSO DP, GONÇALVES FLR. **Estradas Rurais - Técnicas adequadas de manutenção**. Florianópolis: DER; 2003. 236 p.
- BARROS, L. C. de. **Integração entre barraginhas e Lagos de Múltiplo Uso: O Aproveitamento Eficiente da Água de Chuva para o Desenvolvimento Rural**. Sete Lagoas: (Embrapa Milho e Sorgo, circular técnica, 177), 2013. 11 p.
- BARROS, L. C. **Barraginhas e Conservação do Solo**. Sete Lagoas: Embrapa. 2024.
- BASSANI, M.H; GARCEZ, J.G.; BORTOLANZA, D.R.; SOCCOL, J.J.; PERGHER, M.; MOTA, M.R.; RAMOS, J.C.; WILDNER, L.P.; JUSTEN, J.G.K. **O terraceamento passo a passo**. Florianópolis: Epagri, 2023. 32p. (Epagri. Boletim Didático, 170) Conservação do solo; Controle da erosão; Terraços em nível. ISSN 1414-5219 (Impresso)ISSN 2674-9505 (on-line).
- BERTONI, J. **O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão**. Bragantia, Campinas, v. 18, n. 10, p. 113-140, 1959.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Caderno técnico de parâmetros de equipamentos do SICRO**. Brasília: DNIT, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2024.
- BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Custos referenciais de máquinas e equipamentos**. Brasília: DNIT, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2024
- BRASMETAL. **Guia completo do compactador de solo**. São Paulo: Brasmetal, 2023. Disponível em: <https://brasmetal.com>. Acesso em: 10 out. 2024.
- BRITO, A. F. et al. **Avaliação do funcionamento de barraginhas em solos de textura média e arenosa**. Revista Internacional de Ciências, v. 9, n. 2, p. 115-126, 2019.

D'ÁVILA, A. L. M. 1996. Bases de um sistema de gerência de estradas municipais do Estado do Rio Grande do Sul/Alfredo Luís Mendes D'Ávila. São Carlos. **Tese de Doutorado**. Escola de Engenharia de São Carlos, SP.

DE MARIA, I. C. et al. **Recomendações gerais para a conservação do solo na cultura da cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 2016.

DNIT. **Custos de equipamentos e operações agrícolas para obras de infraestrutura rural**. Manual de Custos de Maquinário Agrícola. Brasília, 2023.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa; 2012. **Práticas de Conservação de Solo e Água**. Circular Técnica, Campina Grande, PB. 24p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – Embrapa. **Arroz de terras altas: terraceamento**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-de-terras-altas/terraceamento>. Acesso em: 14 dez. 2024.

FRANCO, A. P. B.. **Percepção, recomendação e adoção do terraceamento agrícola comparadas ao seu funcionamento**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2018.

GABR, M. A., & CAMERON, S. E. 2012. **Soil slope stability and stabilization methods**. John Wiley & Sons.

GRAY, D. H.; SOTIR, R. B. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control**. John Wiley & Sons, 1996

GRIEBELER, N. P.; CARVALHO, D. F. de; MATOS, A. T. de. **Estimativa do custo de implantação de sistema de terraceamento, utilizando-se o sistema de informações geográficas. estudo de caso: Bacia do Rio Caxangá, PR**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 4, p. 299-303, 2000.

GRIEBELER, N. P. et al. **Modelo para o dimensionamento e a locação de sistemas de terraceamento em nível**. Engenharia Agrícola, v. 25, p. 696-704, 2005.

HIPÓLITO, M. T.; COSTA, T. C. C.; BARROS, L. C.; VIANA, A. A. O. N. **Alocação de barraginhas com uso de modelagem hidrológica e geoprocessamento**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019. 28 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 190).

KROHLING, C. A.; FAVARATO, L. F.; VERDIN FILHO, A. C.; COMÉRIO, M.; ALIXANDRE, F. T.; SOUZA, M. F.; GUARÇONI, R. C.; FORNAZIER, M. J. **Microterraceamento como alternativa para a mecanização de atividades na produção do café arábica de montanha**. Vitória-ES: Incaper, 2023. Documento nº 310. Disponível em: <https://incaper.es.gov.br>. Acesso em: 14 out. 2024.

LAFEVOR, M. C. **Restoration of degraded agricultural terraces: Rebuilding landscape structure and process**. Journal of environmental management, v. 138, p. 32-42, 2014.

Lombardi Neto, F., et al. 1989. **Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços**. In: **Simpósio sobre Terraceamento Agrícola**, Campinas. Anais. Campinas, 99-124.

MACHADO, P. P. et al. **Métodos teórico-prático de conservação de solo e regulação do escoamento superficial em regiões de transição de altitude**. Brazilian Journal of Development, v. 8, n. 3, p. 21712-21730, 2022.

MAZZA, J. A.; FRANCO, A. P. B.; CAMPANELLI, V. P. C. Manejo e conservação do solo e da água na cultura da cana-de-açúcar com a intensificação da mecanização na região Centro-Sul do Brasil. In: SANTOS, F. M.; SILVA, S. R.; LIMA, E. **Sistema de Produção Mecanizada da Cana-de-Açúcar Integrada à Produção de Energia e Alimentos. Parte 5: Planejamento conservacionista e qualidade do solo em sistemas de produção mecanizada de cana-de-açúcar.** Volume 2. Jaboticabal: SBEA, 2018.

MACEDO, E. V.; SOUZA, C. A.; SANTOS, F. L. **Estudo sobre o consumo energético e os custos de maquinário agrícola em operações de subsolagem.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 24, n. 2, p. 102-109, 2020.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation.** England: Blackwell, 2005.

MUPENZI, J. de la P. et al. **Radical terraces in Rwanda.** East African Journal of Science and Technology, v. 1, n. 1, p. 53-58, 2012.

NUNES, M. R.; CAMARGO, F. A. O.; SILVA, J. M. **Ressecamento do solo após a subsolagem: causas e implicações.** Revista de Engenharia Agrícola, v. 12, p. 45-58, 2021.

OLIVEIRA, G. C.; PEREIRA, J. C.; MESQUITA, MGBF. da GBF. **Espaçamento entre terraços em função dos fatores que afetam as perdas por erosão.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 16, n. 176, p. 51-56, 1992.

OPERATION. **Custos horários de equipamentos.** São Paulo: Operation, 2023. Disponível em: <https://operation.com.br/custos-horarios/>. Acesso em: 10 out. 2024.

ORÇAMENTOR. SINAPI 91529: **Compactador de solos de percussão (soquete) com motor a gasolina 4 tempos, potência 4 CV – Depreciação.** Disponível em: <https://orcamentor.com/composicao/91529/>. Acesso em: 10 out. 2024.

ORÇAMENTOR. SINAPI 91534: **Compactador de solos de percussão (soquete) com motor a gasolina 4 tempos, potência 4 CV – CHI diurno.** Disponível em: <https://orcamentor.com/composicao/91534/>. Acesso em: 10 out. 2024.

PRETI, F. et al. **Conceptualization of water flow pathways in agricultural terraced landscapes.** Land degradation & development, v. 29, n. 3, p. 651-662, 2018.

RESCK, D. V. S. **A conservação da água via terraceamento em sistemas de plantio direto e convencional no cerrado.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2002. Disponível em: http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/24563/1/cirtec_22.pdf. Acesso em: 05 out. 2024.

RICHART, A. et al. **Compactação do solo: causas e efeitos.** Semina: Ciências Agrárias, v. 26, n. 3, p. 321-343, 2005.

SANTOS, Á. R. dos; et al. 2019. **Estradas vicinais de terra: manual técnico para conservação e recuperação.** ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental 3. ed.: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

SILVA, A. F.; COSTA, R. F.; ALMEIDA, L. R. **Operações agrícolas com subsoladores: custos, consumo de combustível e impacto no solo.** Agricultura Sustentável, v. 12, n. 3, p. 45-60, 2019. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas.

SPAROVEK, G.; MAULE, R. F. **Técnicas de conservação do solo e da água**. In: BELARDO, C.; CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. Processos Agrícolas e Mecanização da Cana-de-Açúcar. 1. ed. Jaboticabal: SBEA, p. 129-147, 2015.

SCHWAB, G. O., FANGMEIER, D. D., ELLIOT, W. J., & FREVERT, R. K. 1993. **Soil and water conservation engineering**. John Wiley & Sons.

ZOCCAL, J. C., & SILVA, P. A. R. 2016. **Manutenção de estradas e conservação da água em zona rural: adequação de erosões em estradas rurais**: causas consequências e problemas na manutenção e conservação estrada rural. São José do Rio Preto: CODASP, 2.

WADT, P. G. S. et al. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. 2003.

WADT, P. G. S. **Construção de terraços para controle da erosão pluvial no estado do Acre**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2004. 44 p. il. color. (Embrapa acre. Documentos, 85). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAF-AC/10514/1/doc85.pdf>. Acesso em: 05 out. 2024.

WITTMUSS, H. D.; SEIBEL, D. C. **Design, construction and evaluation of narrow base terraces**. Applied Engineering in Agriculture, v. 3, n. 2, p. 285-289, 1987.

ANEXO - TERMO DE REFERÊNCIA – TR

Nota: Este TR e seus apêndices poderão ser baixados em arquivos editáveis, na página do Programa Produtor de Água através do link <https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua/colecao-documentos-relacionados-produtor-de-agua>

1 IDENTIFICAÇÃO DA CONTRATAÇÃO

Contratação de serviços de máquina para a implantação de Práticas Mecânicas para a Conservação de Solos e Recursos Hídricos para o Programa Produtor de Água da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

2 INTRODUÇÃO

A Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA) foi criada pela Lei nº 9.984/2000, sendo a agência reguladora dedicada a fazer cumprir os objetivos e diretrizes da Lei das Águas do Brasil, a Lei nº 9.433/1997 e do novo marco legal do saneamento básico, Lei nº 14.026/2020. No âmbito federal, a ANA é responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), na qual há o estabelecimento dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), diretrizes e demais determinações.

Dentre os princípios da PNRH, destaca-se o seu caráter descentralizador e a criação desse sistema que integra União e estados, comitês de bacias hidrográficas, unindo poderes públicos nas três instâncias, usuários e sociedade civil na gestão de recursos hídricos. Trata-se de legislação moderna que proporciona a atuação participativa na implementação da política, destacando-se para fins deste Termo de Referência (TR), duas de suas diretrizes gerais de ação, a saber, *a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental e a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo*.

Nesse contexto, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico criou o Programa Produtor de Água com vistas a promover projetos locais de conservação de recursos hídricos, principalmente sob a ótica dessas duas diretrizes. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico presta orientações e os projetos são desenvolvidos em âmbito local por instituições públicas e privadas, com foco na bacia hidrográfica de interesse, com participação planejada e organizada.

Em termos práticos, os projetos produtores de água locais são resultado da soma de esforços dessas instituições visando a implementação de práticas conservacionistas de solo e água, estas conhecidas das ciências agrárias, biológicas e, especialmente dos produtores rurais.

De modo geral, os principais participantes nesses projetos são as prefeituras, as câmaras legislativas dos municípios, os sindicatos e associações de produtores rurais, companhias agropecuárias, órgãos de assistência técnica, instituições de pesquisa e ensino, órgãos de meio ambiente, indústrias, companhias de saneamento, companhias de geração de energia, organizações não governamentais, comitês de bacias hidrográficas, a comunidade local e outros que tenham interesse em participar e contribuir.

Esse conjunto de atores se organiza, estabelece um projeto produtor de água e atua com foco delimitado na bacia hidrográfica a ser recuperada, onde as unidades territoriais de atuação

são as propriedades rurais cujos produtores ingressam voluntariamente no projeto e participam do planejamento das ações a serem executadas em suas áreas.

Desta maneira, os resultados mais diretos do Programa consistem na implementação de práticas conservacionistas nas propriedades, as quais refletem positivamente na redução de erosão, na melhoria das condições ambientais, na melhor disponibilidade hídrica, e na criação de uma governança com uma nova cultura de soma de esforços voltada à conservação.

Sob essas premissas, e como consequência da atuação do Programa, foram executados diversos projetos no Brasil, que demonstraram significativos resultados organizacionais e operacionais referentes à implementação de práticas conservacionistas. De modo geral, houve execução de práticas de conservação de solos, proteção e recuperação de vegetação, adequação de estradas rurais, e, adequação ambiental das propriedades sob ótica da legislação, todas em harmonia com as atividades agrícolas produtivas locais.

Resumidamente, pode-se afirmar que o manejo de bacias hidrográficas relacionado à conservação de recursos hídricos, em áreas de uso e ocupação alternativos à cobertura vegetal natural, relaciona-se diretamente às práticas conservacionistas utilizadas. Portanto, o manejo moderno, em consonância com as diretrizes da PNRH, visa estabelecer o uso sustentável dos solos, mantendo sua capacidade produtiva; possibilitar o máximo potencial de conservação de suas condições naturais, sua regeneração, bem como otimizar a conservação de água e recarga de aquíferos. Dentre as diferentes práticas de conservação do solo e da água, destacam-se as de caráter mecânico, que são aquelas que requerem uso de equipamentos e máquinas para construção de estruturas para controle de erosão.

3 JUSTIFICATIVA

A contratação de serviços de máquina para a implantação de Práticas Mecânicas para Conservação de Solos e Recursos Hídricos para o Programa Produtor de Água da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico revela-se como uma necessidade para garantir que os Projetos a serem implementados no âmbito do Programa Produtor de Água executem as obras necessárias para a Conservação do Solo e dos Recursos Hídricos. Essa justificativa se fundamenta nos seguintes motivos:

Promoção da Conservação Hídrica - O Programa Produtor de Água é uma iniciativa para a conservação dos recursos hídricos em nosso país. Através da implementação de práticas mecânicas, nomeadamente aquelas que promovem a infiltração e evitam enxurradas, o programa desempenha um papel essencial na melhoria da qualidade e na disponibilidade da água, contribuindo significativamente para a garantia do seu uso, de maneira sustentável para os usuários de recursos hídricos, sem deixar de lado as necessidades dos ecossistemas.

Mitigação dos Impactos das Mudanças Climáticas - As mudanças climáticas apresentam desafios crescentes para a gestão dos recursos hídricos. O fortalecimento do Programa, com a implantação de Práticas Mecânicas para Conservação de Solos e Recursos Hídricos, é crucial para a sustentabilidade das bacias contempladas com um projeto, ajudando a reduzir a erosão do solo, a manter os fluxos dos corpos hídricos mais regulares por meio do favorecimento da infiltração da água, pois são ações de reforço, que aumentam a resiliência dos ecossistemas, inclusive frente a eventos climáticos extremos.

4 ENQUADRAMENTO

No Planejamento da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico para o período de 2023 a 2026, o Programa Produtor de Água foi reconhecido como uma Iniciativa Estratégica, dentro do

Objetivo de Fortalecer o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, considerando as diversidades regionais, no tema de Gestão Integrada de Recursos Hídricos. A contratação de serviço de máquinas se enquadra no Programa Produtor de Água, notadamente nos projetos e ações prioritárias específicas para realizar as práticas de conservação e recuperação vegetal.

5 DEFINIÇÃO DO OBJETO

5.1 Natureza do objeto

Contratação de serviços de máquinas para executar obras de engenharia – práticas mecânicas, para a Conservação do Solo e dos Recursos Hídricos do Programa Produtor de Água, em conformidade com os Projetos Executivos e com os Projetos Individuais de Propriedade – PIPs.

5.2 Descrição das soluções considerando o ciclo de vida do projeto proposto

Com base na caracterização e avaliação dos passivos ambientais existentes nas microbacias cujos projetos foram contemplados, serão definidas as áreas potenciais para conservação de solo e água e as principais intervenções (práticas mecânicas) necessárias em cada uma delas. Para isso, utiliza-se como referência o Manual Operativo do Programa Produtor de Água (ANA, 2012) e recomendações técnicas baseadas em boas práticas agrônômicas e florestais para uso em recuperação de áreas degradadas (RAD), no Brasil.

As intervenções executivas (práticas mecânicas de conservação do solo e dos recursos hídricos) são: (i) instalação de barraginhas e caixas secas; (ii) terraceamento e microterraceamento; (iii) subsolagem e escarificação; e; (iv) recuperação e manutenção de estradas rurais vicinais. **Destaca-se que o detalhamento destas práticas consta em projeto executivo apresentado em anexo a este TR.**

5.3 Quantitativos do objeto

- a) De acordo com as necessidades técnicas identificadas, e com os objetivos previamente considerados, foram quantificados as atividades e os serviços a serem executados, conforme o **APÊNDICE 1 – [PLANILHA DE QUANTITATIVOS](#)**.
- b) O(s) serviço(s) objeto desta contratação são caracterizados como comum(ns), conforme justificativa constante projeto básico ou projeto executivo.
- c) “CONTRATAÇÃO DE PESSOA JURÍDICA PARA EXECUÇÃO DE PROJETOS DO PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA – [NOME DO PROJETO]”. nos termos do **APÊNDICE 1 – [PLANILHA DE QUANTITATIVOS](#)**, conforme condições e exigências estabelecidas neste instrumento.

5.4 Prazo do contrato

- a) O contrato se desenvolverá conforme disposto no [CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO](#), segundo **APÊNDICE 2 - [CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO](#)**.
- b) O prazo de vigência do Contrato será de [nº de meses], [nº de meses] meses para execução dos serviços a contar da data de assinatura da Ordem de Serviço, podendo ser prorrogado pelas partes, sempre mediante Termo Aditivo, não sendo admitida, em hipótese alguma a forma tácita.

6 REQUISITOS DA CONTRATAÇÃO

6.1 Subcontratação

É permitida a subcontratação parcial do objeto, nas seguintes condições:

- a) É vedada a subcontratação completa ou da parcela principal do objeto da contratação.
- b) A subcontratação fica limitada a 30% pela legislação vigente.
- c) O contrato oferece maior detalhamento das regras que serão aplicadas em relação à subcontratação, caso admitida.

6.2 Garantia

Será exigida a garantia da contratação, no percentual e condições descritas no ato convocatório.

6.3 Visita técnica

- a) Durante o processo licitatório desta contratação, serão realizadas visitas técnicas na microbacia selecionada, com a presença do colaborador responsável pela elaboração do projeto.
- b) A visita técnica ao local de execução dos serviços visa inteirar as empresas participantes, às suas expensas, sobre as dificuldades e risco, de todos os aspectos referentes à natureza e escopo da contratação, necessários para cumprir o objeto dos serviços de que trata essa licitação, e das condições que possam afetar sua execução, porém esta será facultada às empresas (opcional).
- c) A visita também visa facilitar a análise para disposição, locação do canteiro de obras e pesquisas para contratações de mão-de-obra. Além da verificação das condições ambientais locais, tipo e textura de solo, limitações de acesso para uso de máquinas e equipamentos em determinados locais. Porém, conforme informado anteriormente, as visitas ao local de execução das obras devem ser prioritariamente compreendidas como um direito subjetivo da empresa licitante, e não uma obrigação, motivo pelo qual devem ser uma faculdade dada aos participantes do certame.
- d) A declaração formal assinada pelo responsável técnico acerca do conhecimento pleno das condições e peculiaridades das obras constitui alternativa à visita técnica. O modelo da declaração formal será disponibilizado no [APÊNDICE 3](#) deste Termo de Referência. Esta declaração deverá ser entregue na data da apresentação das propostas.
- e) As datas e horários das visitas técnicas serão disponibilizados no ato convocatório.
- f) As concorrentes interessadas poderão realizar visita técnica ao local em que serão executados os serviços para constatar as condições de execução e peculiaridades inerentes à natureza dos trabalhos. As concorrentes não poderão alegar, a posteriori, desconhecimento de qualquer fato, condição ou peculiaridade inerente à natureza dos trabalhos.
- g) As concorrentes, a seu critério, poderão declinar da visita, sendo, neste caso, necessário apresentar em substituição ao atestado de visita, declaração formal assinada pelo responsável técnico, sob as penalidades da lei, que tem pleno conhecimento das condições e peculiaridades inerentes à natureza dos trabalhos, e sobre o local do serviço, assumindo TOTAL responsabilidade por

esta declaração, ficando impedida, no futuro, de pleitear por força do conhecimento declarado, quaisquer alterações contratuais, de natureza técnica e/ou financeira.

7 MODELO DE EXECUÇÃO DO OBJETO

7.1 Condições de execução

A execução do objeto seguirá a seguinte dinâmica:

- a) Início da execução do objeto: após a emissão da ordem de serviço.
- b) Os serviços devem ser prestados em observância das especificações contidas no **APÊNDICE 4** - [DEMAIS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS E DIRETRIZES BÁSICAS](#), além de observar todas as disposições presentes no Projeto Executivo. Deverão ser seguidas todas as condicionantes e legislações aplicáveis.
- c) O contrato se desenvolverá conforme disposto no CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO, segundo **APÊNDICE 2** - [CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO](#).

7.2 Materiais a serem disponibilizados

Para a perfeita execução dos serviços, a Contratada deverá disponibilizar os materiais, equipamentos, ferramentas e utensílios necessários, nas quantidades estimadas e qualidades conforme o **APÊNDICE 1** - [PLANILHA DE QUANTITATIVOS](#).

7.3 Garantia de solidez

- a) O prazo de garantia contratual dos serviços, complementar à garantia legal, será de, no mínimo 60 (sessenta) meses, contado a partir do primeiro dia útil subsequente à data do recebimento definitivo do objeto.
- b) A contratada deverá fornecer PMOC – Plano de Manutenção, Operação e Controle que deverá conter todas as informações para o funcionamento do objeto.
- c) A contratada deverá realizar e registrar treinamento específico para a execução do PMOC junto aos futuros operadores do objeto contratado.

8 PROCEDIMENTOS DE TRANSIÇÃO E FINALIZAÇÃO DO CONTRATO

O objeto do contrato será recebido:

- a) Provisoriamente, pelo responsável por seu acompanhamento e fiscalização, mediante termo circunstanciado, assinado pelas partes em até 15 (quinze) dias da comunicação escrita do contratado.
- b) Definitivamente, por funcionário da Contratante mediante termo circunstanciado, assinado pelas partes, após o decurso do prazo de 30 (trinta) dias de observação, ou vistoria que comprove a adequação do objeto aos termos contratuais.
- c) O objeto do contrato poderá ser rejeitado, no todo ou em parte, quando estiver em desacordo com o contrato.

- d) O recebimento provisório ou definitivo não excluirá a responsabilidade civil pela solidez e pela segurança da obra ou serviço nem a responsabilidade ético-profissional pela perfeita execução do contrato, nos limites estabelecidos pela lei ou pelo contrato.
- e) Salvo disposição em contrário constante do edital ou de ato normativo, os ensaios, os testes e as demais provas para aferição da boa execução do objeto do contrato exigidos por normas técnicas oficiais correrão por conta do contratado.
- f) Em se tratando de obra, o recebimento definitivo pela Administração da Contratante não eximirá o contratado, pelo prazo mínimo de 5 (cinco) anos, admitida a previsão de prazo de garantia superior no edital e no contrato, da responsabilidade objetiva pela solidez e pela segurança dos materiais e dos serviços executados e pela funcionalidade da construção, da reforma, da recuperação ou da ampliação do bem imóvel, e, em caso de vício, defeito ou incorreção identificados, o contratado ficará responsável pela reparação, pela correção, pela reconstrução ou pela substituição necessárias.
- g) O termo de encerramento do contrato será procedido de parecer técnico do representante da Contratante, responsável pelo acompanhamento e fiscalização do contrato, que certifique que os bens ou serviços ou obras adquiridas foram recebidos ou efetuados em condições satisfatórias e em conformidade com o Termo de Referência, após eventual decurso do prazo de observação, ou vistoria que comprove a adequação do objeto aos termos contratuais. Deverá ser anexado o termo de recebimento definitivo como parte integrante deste além do parecer técnico que atesta os resultados da avaliação das condições preliminares para a certificação da conformidade com o Termo de Referência.

9 MODELO DE GESTÃO DO CONTRATO

- a) O contrato deverá ser executado fielmente pelas partes, de acordo com as cláusulas acordadas e as normas vigentes, conforme o caso, e cada parte responderá pelas consequências de sua inexecução total ou parcial.
- b) Em caso de impedimento, ordem de paralisação ou suspensão do contrato, o cronograma de execução será prorrogado automaticamente pelo tempo correspondente, anotadas tais circunstâncias mediante simples apostila.
- c) Toda prorrogação de prazo deverá ser justificada por escrito e previamente autorizada pela autoridade competente para celebrar o contrato.
- d) As comunicações entre o órgão ou entidade e a contratada devem ser realizadas por escrito sempre que o ato exigir tal formalidade, admitindo-se o uso de mensagem eletrônica para esse fim.
- e) O órgão ou entidade poderá convocar representante da empresa para adoção de providências que devam ser cumpridas de imediato.
- f) Após a assinatura do contrato ou instrumento equivalente, o órgão ou entidade poderá convocar o representante da empresa contratada para reunião inicial para apresentação do plano de fiscalização, que conterá informações acerca das obrigações contratuais, dos mecanismos de fiscalização, das estratégias para execução do objeto, do plano complementar de execução da contratada, quando houver, do método de aferição dos resultados e das sanções aplicáveis, dentre outros.

9.1 Preposto

- a) A Contratada designará formalmente o preposto da empresa, antes do início da prestação dos serviços, indicando no instrumento os poderes e deveres em relação à execução do objeto contratado.
- b) A Contratada deverá manter preposto da empresa no local da execução do objeto durante toda a execução contratual.
- c) A Contratante poderá recusar, desde que justificadamente, a indicação ou a manutenção do preposto da empresa, hipótese em que a Contratada designará outro para o exercício da atividade.

10 FISCALIZAÇÃO

A execução do contrato deverá ser acompanhada e fiscalizada pelo(s) fiscal(is) do contrato, ou pelos respectivos substitutos.

10.1 Fiscalização técnica

- a) O fiscal técnico do contrato acompanhará a execução deste para que sejam cumpridas todas as condições estabelecidas, de modo a assegurar os melhores resultados para a contratação.
- b) O fiscal técnico do contrato anotará no histórico de gerenciamento do contrato e todas as ocorrências relacionadas à execução deste, com a descrição do que for necessário para a regularização das faltas ou dos defeitos observados.
- c) Identificada qualquer irregularidade, o fiscal técnico emitirá notificações para a correção da execução do contrato, determinando prazo para as correções e/ou ajustes.
- d) O fiscal técnico informará ao gestor do contrato, em tempo hábil, a situação que demandar decisão ou adoção de medidas que ultrapassem sua competência, para que adote as medidas necessárias e saneadoras, se for o caso.
- e) No caso de ocorrências que possam inviabilizar a execução do contrato nas datas estabelecidas, o fiscal técnico do contrato comunicará o fato imediatamente ao gestor do contrato.
- f) O fiscal técnico comunicará ao gestor do contrato, em tempo hábil, o término do contrato sob sua responsabilidade, com vistas à tempestiva renovação ou à prorrogação contratual.
- g) A fiscalização técnica dos serviços estabelecidos no presente Termo de Referência, será efetuada por funcionário legalmente habilitado a ser designado em portaria pela Contratante, sendo a ele atribuída a tarefa de verificar a quantidade, qualidade e os valores dos serviços executados, o atendimento dos padrões e normas requeridos para a intervenção, bem como fazer cumprir todas as exigências da Contratante e as responsabilidades da construtora, descritas no Termo de Referência e legislação vigente; Poderá ser realizada a contratação de terceiros para assistir ou subsidiar a fiscalização, conforme legislação vigente.
- h) A fiscalização de que trata esta cláusula não exclui nem reduz a responsabilidade da Contratada, inclusive perante terceiros, por qualquer irregularidade, ainda que resultante de imperfeições técnicas, vícios redibitórios, ou emprego de material inadequado ou de qualidade inferior e, na ocorrência desta, não implica em corresponsabilidade da Contratante ou de seus agentes e prepostos.

- i) Caso haja a necessidade de substituição de equipamentos/materiais especificados por outros equivalentes/similares (casos em que houver comprovadas justificativas técnicas da real necessidade de substituição), a Contratada deverá informar o fato antecipadamente ao responsável pela fiscalização dos serviços para que seja feita a adequada avaliação e registro da ocorrência. A eventual substituição poderá ocorrer somente após a consulta e mediante expressa autorização formal da Fiscalização;
- j) A Fiscalização dos serviços ocorrerá de forma ininterrupta e ficará a cargo da Contratante, que poderá designar seus funcionários e/ou ainda, indicar fiscais contratados;
- k) A Fiscalização poderá agir e decidir perante a Contratada, inclusive rejeitando serviços que estiverem em desacordo com o Contrato, em desacordo com as Normas Técnicas da ABNT e conflitantes com a melhor técnica consagrada pelo uso, ou legislação vigente. Fica obrigada a Contratada a assegurar e facilitar o acesso da fiscalização, aos serviços, e a todos os elementos que forem necessários ao desempenho de sua missão, sob a pena de descumprimento contratual;
- l) Cabe à Fiscalização verificar a ocorrência de fatos para os quais tenha sido estipulada qualquer penalidade contratual;

10.2 Fiscalização administrativa

- a) O fiscal administrativo do contrato verificará a manutenção das condições de habilitação da contratada, acompanhará o pagamento, as garantias, as glosas e a formalização de apostilamento e termos aditivos, solicitando quaisquer documentos comprobatórios pertinentes, caso necessário.
- b) Caso ocorra descumprimento das obrigações contratuais, o fiscal administrativo do contrato atuará tempestivamente na solução do problema, reportando ao gestor do contrato para que tome as providências cabíveis, quando ultrapassar a sua competência.

10.3 Gestor do contrato

- a) O gestor do contrato coordenará a atualização do processo de acompanhamento e fiscalização do contrato contendo todos os registros formais da execução no histórico de gerenciamento do contrato, a exemplo da ordem de serviço, do registro de ocorrências, das alterações e das prorrogações contratuais, elaborando relatório com vistas à verificação da necessidade de adequações do contrato para fins de atendimento da finalidade da Contratante.
- b) O gestor do contrato acompanhará os registros realizados pelos fiscais do contrato, de todas as ocorrências relacionadas à execução do contrato e as medidas adotadas, informando, se for o caso, à autoridade superior àquelas que ultrapassarem a sua competência.
- c) O gestor do contrato acompanhará a manutenção das condições de habilitação da contratada, para fins de pagamento, e anotar os problemas que obstem o fluxo normal do pagamento da despesa.
- d) O gestor do contrato emitirá documento comprobatório da avaliação realizada pelos fiscais técnico, administrativo quanto ao cumprimento de obrigações assumidas pelo contratado, com menção ao seu desempenho na execução contratual, baseado nos indicadores objetivamente definidos e aferidos, e a eventuais penalidades aplicadas, devendo constar do cadastro de atesto de cumprimento de obrigações.

- e) O gestor do contrato tomará providências para a formalização de processo administrativo de responsabilização para fins de aplicação de sanções, a ser conduzido por comissão, ou pelo agente com competência para tal, conforme o caso
- f) O gestor do contrato deverá enviar a documentação pertinente para a formalização dos procedimentos de pagamento, no valor dimensionado pela fiscalização e gestão nos termos do contrato.

11 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO E PAGAMENTO

- a) A aprovação dos produtos/medições deverá observar os percentuais e os itens discriminados no cronograma físico-financeiro presente no **APÊNDICE 2** – [CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO](#) neste termo de referência;
- b) Para tanto serão desenvolvidos boletins de medição com frequência mensal cujo período de medição seja compatível com a distribuição do tempo no cronograma físico-financeiro. A Contratada deverá seguir o modelo de boletim estabelecido pela Contratante.
- c) Para fins de aprovação de pagamento, não serão admitidas majorações ou reduções dos valores dos itens presentes no cronograma físico-financeiro, como também não serão admitidos valores referenciais diferentes daqueles apresentados no cronograma físico-financeiro para o pagamento dos itens passíveis de medição deste termo de referência, mesmo se o executor apresentar documento que comprove um custo de aquisição diferente do estipulado no Ato Convocatório.
- d) Os pagamentos serão efetuados considerando-se a validade da ordem de serviço, anteriormente apresentada. Não serão admitidos pagamentos de fornecimento de materiais/serviços e de execução de serviços em discordância daqueles estipulados no cronograma físico-financeiro.
- e) Caso haja a necessidade de substituição de equipamentos/materiais especificados por outros equivalentes/similares (casos em que houver comprovadas justificativas técnicas da real necessidade de substituição), a Contratada deverá informar o fato antecipadamente ao responsável pela fiscalização dos serviços para que seja feita a adequada avaliação e registro da ocorrência. A eventual substituição poderá ocorrer somente após a consulta e mediante expressa autorização formal da Fiscalização;
- f) A medição da administração local será proporcional ao percentual de execução física da obra aferida no período a ser medido.
- g) Se constatada apresentar produtividade abaixo daquela estipulada no cronograma físico-financeiro para a execução das obras, a fiscalização poderá aprovar pagamentos proporcionais para o item "Administração Local", a fim de compatibilizar a utilização da equipe e do canteiro de obras com a produtividade na implantação das benfeitorias (intervenções físicas).

12 FORMA E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DO FORNECEDOR E REGIME DE EXECUÇÃO

12.1 Forma de seleção e critério de julgamento da proposta

O fornecedor será selecionado por meio da realização de procedimento de SELEÇÃO PÚBLICA, na modalidade PREGÃO, sob a forma ELETRÔNICA, com adoção do critério de julgamento pelo MENOR PREÇO.

12.2 Regime de execução

O regime de execução do contrato será empreitada a preço global.

12.3 Critério de aceitabilidade de preços

- a) Ressalvado o objeto ou parte dele sujeito ao regime de empreitada por preço unitário, o critério de aceitabilidade de preços será o valor global estimado para a contratação.
- b) Após a adjudicação e homologação do certame, o concorrente vencedor deverá apresentar, por meio eletrônico, planilha que contenha o preço global, cronograma físico financeiro adequado ao valor de sua proposta, os quantitativos e os preços unitários tidos como relevantes, conforme modelo de planilha elaborada pela Contratada.

12.4 Qualificação técnica

- a) A proponente deverá estar registrada no Sistema Crea/Confea ou CAU e estar capacitada tecnicamente e legalmente para executar as obras e serviços tipificados neste Termo de Referência.
- b) A proponente deverá apresentar atestado(s) de capacidade técnica, comprovando que tenha executado ou executa serviços de natureza similar e de complexidade tecnológica e operacional equivalente ou superior às definidas neste Termo de Referência, fornecidos por pessoa jurídica de direito público ou privado, com os devidos registros de Anotação de Responsabilidade Técnica – ART ou Registros de Responsabilidade Técnicas – RRT.
- c) Os atestados solicitados servem para comprovar que a empresa que estão participando da licitação tem competência para cumprir o objeto do edital.

12.5 Equipe técnica da contratada

- a) A Contratada deverá dispor uma equipe técnica capaz de atender o escopo dos serviços requeridos em cada etapa, observando os prazos previstos para a conclusão das etapas parciais definidas em cronograma físico-financeiro. Os profissionais mobilizados pela Contratada deverão se dedicar integralmente ou parcialmente ao longo do Contrato, de acordo com etapas previstas.
- b) Para o desenvolvimento das atividades previstas no presente Termo de Referência, requer-se a apresentação de uma equipe técnica com as seguintes qualificações:

12.6 Equipe chave

- a) 01 (um) Engenheiro Responsável Técnico, com formação em Engenharia para execução das obras/serviços que deverá comprovar experiência em execução de serviços de conservação do solo, execução de projetos hidroambientais, de recuperação de áreas degradadas e/ou adequação de estradas rurais. A experiência deverá ser comprovada por meio de atestado de capacidade técnica. O Responsável Técnico deverá garantir que todas as especificações técnicas apresentadas no presente Termo de Referência sejam respeitadas, com o objetivo de garantir a qualidade dos serviços que serão executados e, conseqüentemente, a eficiência das estruturas implantadas. Suas responsabilidades são:
 - Garantir a qualidade dos serviços executados;
 - Apresentar justificativas técnicas para alterações na localização dos serviços, caso não seja possível executar as intervenções conforme apresentado no Termo de Referência;

- Enviar à Contratante e/ou à Fiscalizadora o quantitativo dos serviços que foram executados, subsidiando o acompanhamento e o controle das obras;
 - Preencher diariamente o Relatório de Diário de Obras (RDO).
- b) 01 (um) Encarregado Geral de Obras residente, com experiência comprovada em execução de obras ou serviços de engenharia. A experiência profissional deverá ser comprovada por meio de atestado de capacidade técnica ou ainda por meio de Carteira de Trabalho com a identificação do cargo/função. Nos atestados apresentados, a atividade exercida pelo profissional indicado deverá estar discriminada.
- c) 01 (um) Técnico em Segurança do Trabalho, com experiência comprovada em segurança do trabalho no ramo da construção civil ou serviços de engenharia. Este profissional deverá possuir registro válido no Ministério do Trabalho para o exercício da função. A experiência profissional deverá ser comprovada por meio de atestado de capacidade técnica ou ainda por meio de Carteira de Trabalho com a identificação do cargo/função. Nos atestados apresentados, a atividade exercida pelo profissional indicado deverá estar discriminada.
- d) Todos os profissionais da Equipe Chave deverão possuir registro ativo no respectivo Conselho de Classe Profissional no momento de apresentação da sua proposta.
- e) Quando o cargo exigido não possuir Conselho de Classe a experiência profissional poderá ser comprovada por meio de apresentação de atestados de capacidade técnica ou ainda por meio de Carteira de Trabalho com a identificação do cargo/função. Nos atestados apresentados, a atividade exercida pelo profissional indicado deverá estar discriminada.
- f) Qualquer pedido de alteração deverá ser formalizado e justificado pela Contratada dentro do período de vigência do Contrato e logo após a verificação da necessidade de substituição do profissional. Pedidos encaminhados após o término do Contrato não serão aceitos.
- g) Apresentando-se a necessidade de alteração de profissional inicialmente alocado no projeto, para a equipe técnica habilitada, a Contratada deverá formalizar o pedido por meio de Ofício encaminhado ao fiscal do Contrato designado pela Contratante, indicando um substituto que tenha o nível de experiência e qualificação técnica igual ou superior ao profissional substituído, desde que respeitados os parâmetros exigidos. O pedido de substituição passará por análise da Contratante que irá emitir parecer técnico, dispondo sobre a sua aprovação ou não.

12.7 Premissas para registro de atuação da equipe técnica

O Atestado de Capacidade Técnica é uma faculdade do Contratante. Caso o Contratante decida por sua emissão, após solicitação do Contratado, no atestado de capacidade técnica constarão somente os profissionais cujos nomes forem incluídos na fase de habilitação técnica, como parte integrante da Equipe Residente e da Equipe de Apoio, respeitando as respectivas funções ou cargos para os quais os profissionais foram alocados. Acerca das atividades, serão atestadas somente aquelas discriminadas neste Termo de Referência.

13 ESTIMATIVAS DO VALOR DA CONTRATAÇÃO

As estimativas do valor da contratação, acompanhadas dos preços unitários referenciais, das memórias de cálculo e dos documentos que lhe dão suporte, com os parâmetros utilizados para a obtenção dos preços e para os respectivos cálculos, estão apresentados no **APÊNDICE 5 – [PLANILHA ORÇAMENTÁRIA](#)**.

13.1 Valor máximo da contratação

O valor máximo global destinado a esta contratação, em consonância com o presente Termo de Referência, é de **[incluir o valor]** reais, valor definido em razão da disponibilidade financeira e orçamentária.

NOTA: Todos os valores do quantitativos, equipamentos, serviços e materiais que compõe o valor máximo para contratação do objeto, estão devidamente disponibilizados no **APÊNDICE 5 – PLANILHA ORÇAMENTÁRIA**.

13.2 Cronograma físico-financeiro

- a) O cronograma físico-financeiro deverá observar as seguintes definições, de acordo com o **APÊNDICE 2 – CRONOGRAMA FÍSICO-FINANCEIRO**, além disto deverá ser observado que:
- I. Os valores percentuais a serem pagos, após a conclusão parcial dos serviços, são coerentes aos valores parciais que compõem o valor global contratado, não podendo sofrer alterações em seus percentuais, que objetivem elevar ou reduzir os montantes previstos;
 - II. Não serão pagos isoladamente os fornecimentos de materiais e equipamentos, além daqueles estipulados no cronograma físico-financeiro;
 - III. Serviços incompletos não serão remunerados e todos os pagamentos dependem da prévia aprovação por parte da Fiscalização da Contratante, por meio de Parecer Técnico;
 - IV. O pagamento da Primeira Medição do item “Mobilização da equipe técnica” depende da aprovação prévia do item “Mobilização do Canteiro de Obras” e da apresentação dos comprovantes de residência da equipe residente habilitada; e da apresentação e aprovação das Anotações de Responsabilidade Técnica – ARTs dos Engenheiros (as) habilitados (as);
 - V. O pagamento da Medição Final do item “Mobilização da equipe técnica” depende da assinatura do Termo de Recebimento Definitivo da Obra;
 - VI. A contratada deverá elaborar e apresentar um relatório “*As built*”, contemplando toda a execução da obra;
 - VII. O pagamento do item “Desmobilização do Canteiro de Obras” depende da aprovação prévia de todos os demais itens antecedentes, da aprovação do relatório “*As built*” e da assinatura do Termo de Recebimento Definitivo da Obra, além da disponibilização de “Manual de Operação”.
 - VIII. A não aprovação do produto dentro do período designado no cronograma físico-financeiro do TR caracteriza inadimplência da Contratada, mesmo que o produto esteja sendo readequado, para atender ao TR, por solicitação da equipe técnica da Contratante, responsável pela fiscalização do contrato.
 - IX. A medição da administração local será proporcional ao percentual de execução física da obra aferida no período a ser medido;

14 OBRIGAÇÕES

14.1 Obrigações da contratada

- Realizar os trabalhos contratados conforme especificado neste Termo de Referência e de acordo com Cláusulas estipuladas em Contrato;

- Exercer as suas atividades em respeito às tradições e costumes indígenas, sendo absolutamente vedada a posse ou distribuição de bebida alcoólica por parte de colaboradores da Contratada no interior das terras indígenas, e dos povos tradicionais a que estejam inseridos os trabalhos;
- Fornecer informações à Gerência de Projetos do Contratante, sempre que solicitado, sobre os trabalhos que estão sendo executados;
- Apresentar na primeira quinzena do Contrato, um layout para implantação do canteiro de obras e demais instalações acessórias;
- Providenciar junto ao Crea/CAU, às suas expensas, as Anotações de Responsabilidade Técnica - ART's e/ou Registro de Responsabilidade Técnica (RRT's) relativas às atividades previstas no escopo do projeto;
- Executar os serviços em estrita e total observância às Normas Brasileiras e às indicações constantes dos projetos fornecidos pelo Projeto Executivo. No caso de inexistência de normas brasileiras específicas, ou nos casos em que elas forem omissas, deverão ser obedecidas às prescrições estabelecidas pelas normas estrangeiras pertinentes;
- Executar a obra em estrita observância às normas de preservação do meio ambiente conforme preconizado na Legislação brasileira, bem como do estado e do município da federação a que está inserida;
- Manter no local da obra durante todo o período de execução, em regime permanente, no mínimo um técnico de segurança do trabalho, portador de comprovação de registro profissional expedido pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE);
- Assumir a inteira responsabilidade pelo transporte interno e externo do pessoal e dos insumos até o local das obras/serviços e fornecimentos;
- Exercer a vigilância e proteção de todos os materiais no local das obras/serviços e fornecimentos;
- Colocar tantas frentes de serviços quantas forem necessárias (mediante anuência prévia da Fiscalização), para possibilitar a perfeita execução das obras/serviços e fornecimentos dentro do prazo contratual;
- Responsabilizar-se pelo fornecimento de toda a mão-de-obra, sem qualquer vinculação empregatícia com o Contratante;
- A Contratada deverá utilizar pessoal experiente, bem como equipamentos, ferramentas e instrumentos adequados para a boa execução das obras/serviços e fornecimentos;
- Responsabilizar-se por todos os ônus e obrigações concernentes à legislação tributária, trabalhista, securitária, previdenciária, e quaisquer encargos que incidam sobre os materiais e equipamentos, os quais, exclusivamente, correrão por sua conta, inclusive o registro do serviço contratado junto ao Crea ou CAU do local de execução das obras e serviços;
- Responsabilizar-se pelos encargos trabalhistas, previdenciários, fiscais e comerciais, resultantes da execução do Contrato;
- Responsabilizar-se, durante a execução contratual, pelo cumprimento das obrigações previstas em Acordo, Convenção, Dissídio Coletivo de Trabalho ou equivalentes das categorias abrangidas pelo contrato, por todas as obrigações trabalhistas, sociais, previdenciárias, tributárias e as demais previstas em legislação específica, cuja inadimplência não transfere a responsabilidade à Contratante;

- Não serão incluídas nas planilhas de custos e formação de preços as disposições contidas em Acordos, Dissídios ou Convenções Coletivas que tratem de pagamento de participação dos trabalhadores nos lucros ou resultados da empresa contratada, de matéria não trabalhista, de obrigações e direitos que somente se aplicam aos contratos com a Administração Pública, ou que estabeleçam direitos não previstos em lei, tais como valores ou índices obrigatórios de encargos sociais ou previdenciários, bem como de preços para os insumos relacionados ao exercício da atividade;
- Apresentar declaração de que garante aos seus trabalhadores ambiente de trabalho, inclusive equipamentos e instalações, em condições adequadas ao cumprimento das normas de saúde, segurança e bem-estar no trabalho;
- Apresentar declaração de que cumpre a observância dos preceitos da legislação sobre a jornada de trabalho, conforme a categoria profissional.
- Apresentar declaração de responsabilidade exclusiva da contratada sobre a quitação dos encargos trabalhistas e sociais decorrentes do contrato;
- Fornecer, sempre que solicitados pela Contratante, os comprovantes do cumprimento das obrigações trabalhistas, previdenciárias, do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço - FGTS, em especial ao pagamento dos salários e demais benefícios trabalhistas dos empregados colocados à disposição da Contratante;
- A ausência da documentação pertinente ou da comprovação do cumprimento das obrigações trabalhistas, previdenciárias e relativas ao FGTS implicará a retenção do pagamento da fatura mensal, em valor proporcional ao inadimplemento, mediante prévia comunicação, até que a situação seja regularizada, sem prejuízo das demais sanções cabíveis
- O descumprimento das obrigações trabalhistas ou a não manutenção das condições de habilitação pela Contratada poderá dar ensejo à rescisão contratual, sem prejuízo das demais sanções.
- O não pagamento dos salários e das verbas trabalhistas, e o não recolhimento das contribuições sociais, previdenciárias e para com o FGTS em relação aos empregados da Contratada que efetivamente participaram da execução do contrato poderá dar ensejo à rescisão do contrato, por ato unilateral e escrito, por parte da Contratante e à aplicação das penalidades cabíveis
- Responsabilizar-se, desde o início das obras/serviços até o encerramento do contrato, pelo pagamento integral das despesas do canteiro de obras referentes a água, energia, telefone, taxas, impostos e quaisquer outros tributos que venham a ser cobrados;
- Permitir o acesso de forma irrestrita ao Contratante e à equipe de Fiscalização indicada por ele;
- Comunicar sempre que for iniciar ou concluir uma atividade em execução, mantendo estreita comunicação com a Fiscalização;
- Todos os elementos de projeto deverão ser minuciosamente estudados pela Contratada, antes e durante a execução dos serviços, devendo informar imediatamente à Fiscalização sobre qualquer eventual incoerência, falha ou omissão que for constatada, que possa interferir na execução do projeto;
- Todas as eventuais modificações nos projetos executivos efetuadas durante a execução dos serviços e após registro e aprovação junto à Fiscalização deverão ser documentadas pela Contratada, que registrará as revisões e complementações dos elementos integrantes do

projeto, incluindo os desenhos “como construído” (*as-built*) e deverá providenciar, no que couber, as autorizações junto aos órgãos competentes.

- Deverá providenciar e arcar os custos necessários para a regularização ambiental para a execução do objeto, perante os órgãos competentes, de acordo com os custos estimados na planilha orçamentária.

14.2 Obrigações da contratante

- Disponibilizar documentos e informações úteis à execução das obras e dos serviços contratados, conforme especificado neste termo de referência;
- Realizar a fiscalização das obras e serviços executados;
- Realizar os pagamentos relativos aos serviços parciais executados e aprovados, conforme estipulado neste termo de referência e Cláusulas Contratuais pertinentes.

Local, UF [**inserir data**]



PROGRAMA
PRODUTOR DE ÁGUA



MINISTÉRIO DA
**INTEGRAÇÃO E DO
DESENVOLVIMENTO
REGIONAL**

**GOVERNO DO
BRASIL**
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

ISBN 978-658810172-8



9 786588 101728