

Recuperação de áreas mineradas

3ª edição revista e ampliada

José Maria Filippini Alba
Editor Técnico

Embrapa

***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Clima Temperado
Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

Recuperação de áreas mineradas

3ª edição revista e ampliada

José Maria Filippini Alba
Editor Técnico

Embrapa
Brasília, DF
2018

Embrapa Clima Temperado
Rodovia BR 392 Km 78 9° Distrito
Caixa Postal: 403
96010-971 Pelotas, RS
Fone: (53) 3275-8100
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Unidade responsável pelo conteúdo
Embrapa Clima Temperado

Comitê Local de Publicações

Presidente

Ana Cristina Richter Krolow

Vice-presidente

Enio Egon Sosinski Junior

Secretária

Bárbara Chevallier Cosenza

Membros

Sonia Desimon

Luiz Fernando Teixeira de Carvalho Jackson

Marilaine Schaun Pelufê

Ana Luiza Barragana Viegas

Responsável pela edição

Secretaria Geral

Coordenação editorial

Alexandre de Oliveira Barcellos

Heloiza Dias da Silva

Nilda Maria da Cunha Sette

Supervisão editorial

Wyviane Carlos Lima Vidal

Josmária Madalena Lopes

Revisão de texto

Francisca Elijani do Nascimento

Normalização bibliográfica

Rejane Maria de Oliveira

Projeto gráfico e capa

Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Foto da capa

José Eduardo Figueiredo Dornelles

1ª edição

1ª impressão (2007): 1.000 exemplares

2ª edição

1ª impressão (2010): 1.000 exemplares

3ª edição

1ª impressão (2018): 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa

Recuperação de áreas mineradas / José Maria Filippini Alba, editor técnico. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.
456 p. : il. ; 16 cm x 22 cm.

ISBN 978-85-7035-779-3

1. Recurso natural 2. Deterioração do solo. 3. Mineração. I. Alba, José Maria Filippini. II. Embrapa Clima Temperado.

CDD 333.714

Rejane Maria de Oliveira (CRB 1/2913)

© Embrapa, 2018

Autores

José Maria Filippini Alba

Químico, doutor em Geoquímica e Geotectônica, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

Alexander Silva de Resende

Engenheiro florestal, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Alexandre Franco de Castilho

Engenheiro-agrônomo, Mineração Rio do Norte, Oriximiná, PA

Antonio Salvio Mangrich

Químico, doutor em Química, professor titular sênior da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR

Avílio Antônio Franco

Engenheiro-agrônomo, doutor em Recuperação de Áreas Degradadas, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Betânia Fraga Pereira

Engenheira-agrônoma, doutora em Química, pesquisadora visitante na Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

Claudio Costa Neto

Engenheiro-químico, doutor em Química Orgânica, professor emérito da Universidade Federal de Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ

Domingos Campos Neto

Engenheiro florestal, Consórcio de Alumínio do Maranhão (Alumar), São Luís, MA

Edilane Rocha-Nicoleite

Bióloga, doutora em Ecologia, assessora técnica da Associação Beneficente da Indústria Carbonífera, Criciúma, SC

Eduardo Francia Carneiro Campello

Engenheiro florestal, doutor em Ciência Florestal, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Eloy Antonio Pauletto

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas, RS

Etelvino Henrique Novotny

Engenheiro-agrônomo, doutor em Físico-Química, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Flavia Fontana Fernandes

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, professora da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas, RS

Gisele Parra

Engenheira-agrônoma e advogada, doutoranda do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (IG-Unicamp), Campinas, SP

Hildebrando Herrmann

Advogado, doutor em Geociências e Meio Ambiente, professor da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP

Iberê Farina Machado

Biólogo, mestre em Biologia, consultor ambiental da Biota Soluções Ambientais, São Leopoldo, RS

James Jackson Griffith

Bacharel em Filosofia, doutor em Ciência Florestal, professor da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG

Jeniffer Vanelle dos Santos

Química, mestre em Química Inorgânica, doutoranda da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba, PR

Jorge Luiz de Oliveira Fortes

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor da Universidade Estadual do Maranhão (Uema), São Luís, MA

José Eduardo Figueiredo Dornelles

Biólogo, doutor em Geociências, professor da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, RS

Joventino Fernandes Moreira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, professor do Instituto Federal de Alagoas, Murici, AL

Júlio Skalski Junior

Engenheiro florestal, mestre em Gestão Ambiental, gestor de meio ambiente na Gerência de Mineração da Unidade de Negócios de Industrialização do Xisto (SIX)/Petrobras-SIX, São Mateus do Sul, PR

Lizete Stumpf

Engenheira-agrônoma, doutora em Ciência do Solo, professora da Universidade Federal de Rio Grande (FURG), Rio Grande, RS

Luis Enrique Sánchez

Engenheiro de minas e geógrafo, doutor em Economia dos Recursos Naturais e do Desenvolvimento, professor da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP

Luís Sérgio Cerqueira (In memoriam)

Engenheiro-agrônomo, mestre em Agronomia, consultor da Alunorte, Barbacena, PA

Luís Eduardo Dias

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, professor da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG

Luiz Fernando Spinelli Pinto

Geólogo, doutor em Ciência do Solo, professor da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Pelotas, RS

Marcos Back

Engenheiro-agrônomo, mestre em Geografia, professor da Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), Criciúma, SC

Omar Yazbek Bitar

Geólogo e licenciado em Física, doutor em Engenharia, pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), São Paulo, SP

Rafael Gustavo Becker

Biólogo, mestre em Biologia, consultor ambiental da Biota Soluções Ambientais, São Leopoldo, RS

Robson dos Santos

Biólogo e químico industrial, doutor em Engenharia, professor da Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), Criciúma, SC

Roger Borges da Silva

Biólogo, mestre em Biologia, consultor ambiental da Biota Soluções Ambientais, São Leopoldo, RS

Rosa Lia Barbieri

Bióloga, doutora em Genética e Biologia Molecular, pesquisadora da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS

Sebastião Pinheiro

Engenheiro-agrônomo, professor da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS

Sérgio Miana de Faria

Engenheiro florestal, Ph.D. em Ciências Biológicas, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Sofia Julia Alves Macedo Campos

Engenheira civil, mestre em Engenharia, pesquisadora do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), São Paulo, SP

Sueli Yoshinaga Pereira

Geóloga, doutora em Geociências, professora da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campinas, SP

Tania de Oliveira Braga

Geóloga, especialista em Segurança e Meio Ambiente em Mineração, pesquisadora do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), São Paulo, SP

Tomás Fleck

Biólogo, mestre em Biologia, consultor ambiental da Biota Soluções Ambientais, São Leopoldo, RS

Vanilde Citadini-Zanette

Bióloga, doutora em Ecologia, professora da Universidade do Extremo Sul Catarinense (Unesc), Criciúma, SC

Agradecimentos

À Bárbara Chevallier Cosenza, pela colaboração do Comitê Local de Publicações nas diversas fases da revisão do livro; à Sueli Yoshinaga Pereira, pela leitura e revisão do Capítulo 1, da Parte 1, e Capítulo 4, da Parte 3; à Daiane Hellnvig Zarnott, pela revisão dos capítulos desta terceira edição; e à Carolina Warnke Costa, pela colaboração no processamento das imagens Landsat do Capítulo 4, da Parte 3.

Aos colegas Álvaro Camargo Kopezynski, Ana Maria de Azevedo Dantas Marins, Caio Pompeu Cavalhieri e Caroline Quina dos Santos Kerestes, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), pela contribuição no Capítulo 6, da Parte 2.

Ao Aldo Guido Votto, da Petrobras-SIX, pela leitura crítica e sugestões de melhorias que muito contribuíram para a redação final do Capítulo 1, da Parte 3.

Apresentação

Este livro surgiu como um produto do *Workshop de Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração de Xisto*, realizado em São Mateus do Sul, PR, no período de 22 a 23 de novembro de 2005, no contexto do Projeto Xisto Agrícola, patrocinado por três entidades: a Petrobras, representada pela Unidade de Negócios de Industrialização do Xisto (SIX); a Embrapa, representada pela Embrapa Clima Temperado; e a Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento Agropecuário Edmundo Gastal (Fapeg). O evento foi independente, sem relação com a Sociedade Brasileira de Áreas Degradadas (Sobrade). Mesmo assim, na época, o presidente dessa associação foi informado de que se tratava de um workshop específico para a coletividade relacionada ao projeto e para as entidades antes mencionadas.

Houve modificações no conteúdo desta terceira edição em relação à primeira e à segunda, que foram muito semelhantes. O desenvolvimento foi condensado em três partes. Dessa forma, integraram-se a gestão e a potencialidade da recuperação de áreas degradadas, que, nas edições anteriores, foram consideradas separadamente. As outras duas partes permaneceram iguais, com os indicadores de qualidade e estudos de caso, respectivamente. O enfoque foi generalizado, contudo foi eliminado o capítulo Agricultura no Contexto de Recuperação de Áreas Degradadas, e incluídos os capítulos: Conceituação sobre Áreas Degradadas; Recuperação do Meio Físico em Áreas Mineradas; e Três Estudos em Áreas Degradadas no Extremo Sul do Brasil, o que resultou em 16 capítulos, dois a mais que nas versões anteriores. Assim, a estrutura ficou mais consistente, para que os conceitos de áreas degradadas e mineradas fossem aprimorados. Ademais, sete capítulos foram revisados significativamente, o que resultou na inserção de mais nove autores e na retirada de sete que participaram das edições anteriores.

Dos 39 autores que participaram do processo, 50% são pesquisadores reconhecidos e os demais são colaboradores ou estudantes, filiados a entidades

brasileiras, representando oito estados: Maranhão, Minas Gerais, Pará, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo. Foram envolvidas três Unidades da Embrapa (Agrobiologia, Clima Temperado e Solos), quatro empresas do setor mineral (Petrobras e três empresas privadas) e dez universidades. Na Parte 1, predominaram autores especialistas autônomos e, nas Partes 2 e 3, foram incluídos sete grupos de pesquisa relacionados à recuperação de áreas mineradas para áreas de bauxita, de carvão (dois grupos) ou de rochas para construção, recursos genéticos, paleontologia e pedologia. Isso demonstrou a natureza transdisciplinar do tema “Recuperação de áreas mineradas”.

Na Parte 1, o conteúdo apresenta conceitos relacionados a áreas degradadas, aspectos legais, terminologia e sua forma de gestão e planejamento, descrevendo também a potencialidade do uso de subprodutos da mineração na agricultura, o que pode se tornar uma alternativa à importação de fertilizantes.

Na Parte 2, diversos indicadores de qualidade ambiental em áreas degradadas foram considerados, entre eles, o estudo de moléculas orgânicas e complexos organometálicos de “terras recuperadas”, a drenagem ácida de mina, o monitoramento da fauna de vertebrados, o resgate fossilífero, a qualidade dos solos do ponto de vista termodinâmico e a restauração do meio físico, principalmente hidrografia e relevo. Como resultado, pode-se mencionar a complexidade do processo e o grande número de variáveis envolvidas.

Finalmente, na Parte 3, são descritos estudos de caso sobre recuperação de áreas degradadas e mineradas.

Embora o livro não tenha sido direcionado para o ensino de graduação, principalmente em razão da complexidade da temática abordada, deve-se destacar que seu conteúdo técnico poderá auxiliar estudantes, profissionais autônomos, especialistas diversos, extensionistas e técnicos agrícolas, florestais e de áreas afins.

Clenio Nailto Pillon

Chefe-Geral da Embrapa Clima Temperado

Prefácio

Já transcorreram mais de 10 anos desde a realização do *Workshop Recuperação de Áreas Degradadas pela Mineração de Xisto – WRADMX 2005*, que, como comentado na Apresentação, motivou a elaboração deste livro. A primeira versão do livro, publicada pela Embrapa Clima Temperado, em 2007, limitou-se à impressão de 50 exemplares. A obra intitulou-se *Recuperação de áreas mineradas: a visão dos especialistas brasileiros*, por sugestão do professor doutor James J. Griffith, da Universidade Federal de Viçosa. Inicialmente, à semelhança do evento, a ideia era falar sobre áreas degradadas; no entanto, os líderes do Projeto Xisto Agrícola e os próprios financiadores não se agradavam com a expressão, dada sua conexão com o termo impacto ambiental. Assim, por sugestão do doutor Clenio N. Pillon, utilizou-se a expressão “áreas mineradas”, considerada mais específica.

No decorrer do processo, tivemos o lamentável desaparecimento físico do mestre Luiz Sérgio Coelho de Cerqueira, em 27 de setembro de 2006. Não o conheci em vida, mas, por informações na mídia, soube que era engenheiro-agrônomo e integrava o quadro de pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental por volta de 1998. Posteriormente, trabalhou em empresas de mineração, com a área de recuperação de áreas degradadas, sendo reconhecida sua “paixão por palmeiras”. Nosso agradecimento a sua esposa, Dona Rosely Domingues de Cerqueira, e aos filhos por nos permitirem incluir o Luiz Sérgio como autor deste livro.

O atual chefe de Transferência de Tecnologias e ex-chefe-geral, doutor João Carlos Costa Gomes, foi encarregado de apresentar a primeira edição do livro à Embrapa Informação Tecnológica. Assim, recebemos o convite para a segunda edição pela Embrapa Informação Tecnológica, em 2010, com a impressão de 1.000 exemplares. A participação dessa Unidade permitiu profissionalizar o livro, que foi revisado e padronizado, sendo esgotado

rapidamente. A síntese do título para Recuperação de áreas mineradas surgiu dessa equipe.

Chegamos, assim, à terceira edição, que apresenta estrutura diferente, e se subdivide em três partes: Gestão e Potencialidade da Recuperação de Áreas Degradadas; Indicadores de Qualidade Ambiental em Áreas Degradadas; e Experiências em Projetos de Recuperação de Áreas Mineradas.

Foi eliminado um capítulo dos 14 originais e inseridos três novos, totalizando assim 16 capítulos. Dessa forma, o enfoque foi generalizado, reduzindo a influência do Projeto Xisto Agrícola; com orientação mais abrangente, foram introduzidos os conceitos relacionados com áreas degradadas em capítulo novo (Parte 1, Capítulo 1: Conceituação sobre Áreas Degradadas). Não sou especialista em recuperação de áreas mineradas (RAM), no entanto, pelas atividades desenvolvidas como profissional, tenho transitado por aplicações, conceitos e projetos relacionados com agricultura, ciências ambientais, geologia, geoquímica, mineração e química. Assim, ganhando uma perspectiva “transdisciplinar”, tão necessária para o tema, como comentado em várias partes do livro. Trata-se de um termo ainda mais integrador que “interdisciplinar”, o qual procura reunir as ciências em um todo, aproveitando partes fundamentais de cada uma delas.

O grupo de trabalho envolve visões e especialidades diferentes, integrando amigos, colegas e relações puramente profissionais, com participação de alguns dos maiores especialistas em RAM de todo o Brasil.

José Maria Filippini Alba

Pesquisador da Embrapa Clima Temperado

Sumário

Parte 1

Gestão e potencialidade da recuperação de áreas degradadas

Capítulo 1

Conceituação sobre áreas degradadas, **17**

Capítulo 2

Planejamento e gestão do processo de recuperação de áreas degradadas, **31**

Capítulo 3

Estratégias de gestão em recuperação de áreas degradadas por mineração: recuperação socioambiental de áreas mineradas, **53**

Capítulo 4

Cinco subsistemas de recuperação ambiental: uma proposta de gestão holônica, **81**

Capítulo 5

Potencialidades da xistoquímica para a agricultura, **103**

Capítulo 6

Lições das rochas: a energia suprema, **145**

Parte 2

Indicadores de qualidade ambiental em áreas mineradas

Capítulo 1

Avaliação da reabilitação de solos de áreas mineradas de xisto por métodos espectroscópicos magnéticos, **177**

Capítulo 2

Impacto da drenagem ácida na água subterrânea, **215**

Capítulo 3

Monitoramento de áreas em recuperação: padrões de colonização da comunidade de vertebrados terrestres, **235**

Capítulo 4

Paleodiversidade comentada dos folhelhos e siltitos da Formação Irati da área de extração do xisto e região: um resgate fossilífero, **277**

Capítulo 5

Recuperação de solos degradados pela mineração: da teoria termodinâmica à prática nas áreas regeneradas da mina de carvão de Candiota, RS, **293**

Capítulo 6

Recuperação do meio físico em áreas mineradas, **319**

Parte 3

Experiências em projetos de recuperação de áreas mineradas

Capítulo 1

O processo da Petrobras na recuperação das áreas mineradas para exploração do xisto, em São Mateus do Sul, PR, **375**

Capítulo 2

Recuperação de áreas degradadas pela mineração de carvão em Santa Catarina, **397**

Capítulo 3

Revegetação de áreas degradadas pela mineração e processamento de bauxita, **427**

Capítulo 4

Três estudos de caso em áreas degradadas no extremo Sul do Brasil a partir de imagens orbitais, **447**

Parte 1

Gestão e potencialidade da recuperação de áreas degradadas

Conceituação sobre áreas degradadas

José Maria Filippini Alba

Introdução

De acordo com Cruz (2011), na perspectiva agrícola, uma área é considerada degradada quando sua produtividade está em declínio ou quando precisa de aporte de nutrientes para manter o nível de produtividade. Já, no contexto legal (BRASIL, 1989), são áreas degradadas aquelas com danos ambientais, pelos quais se perde ou se reduz a capacidade produtiva dos recursos naturais.

A recuperação de áreas degradadas tornou-se obrigação legal no Brasil após a edição da Lei nº 6.938/81 (BRASIL, 1981) e a promulgação da Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 1988), o que acarretou um processo de discussão entre a sociedade técnico-científica e o setor produtivo de natureza multidisciplinar (DIAS; MELLO, 1998).

Nesse contexto, em 1992 foi realizado o *I Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas* para debate acerca do tema (SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERACAO ÁREAS DEGRADADAS, 1992); desde então, outras edições desse evento vêm sendo realizadas (SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2012). Nesses simpósios, as áreas degradadas são consideradas, em perspectiva abrangente, como consequência da agricultura, atividades industriais, erosão, mineração, remoção ou exploração intensa da cobertura vegetal ou sobrepastejo.