

# APLICAÇÃO DE MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO EM PROJETOS DE REABILITAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS PELA MINERAÇÃO DE CARVÃO

E.L. SANTO<sup>1</sup>; R.P. LOPES<sup>2</sup>; M.F. MENDES<sup>3</sup>; E. KREBS<sup>3</sup>

1- Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
Rodovia Jorge Lacerda, km 4,5. Cx. Postal 3167 - 88805-350 – Criciúma – SC.

[santoel@unesc.rct-sc.br](mailto:santoel@unesc.rct-sc.br)

2- Universidade do Extremo Sul Catarinense – Av. Universitária, 1105 – Bairro Universitário  
Cx. Postal 3167 – 88806-000 – Criciúma – SC.

3- Acadêmico do curso de Engenharia Ambiental – Universidade do Extremo Sul Catarinense

A classificação de terrenos, utilizada nos mapeamentos geotécnicos desde a década de sessenta até os dias atuais, baseia-se em quatro parâmetros básicos: (i) característica dos taludes; (ii) substrato rochoso; (iii) características do solo; (iv) características da vegetação. A adaptação dessa metodologia à avaliação de áreas degradadas pela mineração de carvão, denominada pelos autores de mapeamento geológico-geotécnico, tem-se mostrado bastante eficiente na definição de zonas com diferentes níveis de comprometimento ambiental. Essa técnica consiste, primeiramente, na delimitação, a partir da interpretação de fotografias aéreas, de porções do terreno com características físicas e biológicas similares, denominadas zonas homólogas, cuja resposta visual nas imagens aéreas é função dos aspectos geológicos, geotécnicos, geomorfológicos e bióticos inerentes a cada um desses compartimentos. A fotointerpretação pode ser realizada com auxílio de estereoscópio de espelho ou diretamente em meio digital, utilizando *softwares* gráficos. A delimitação das chamadas zonas homólogas em uma base topográfica é feita em meio digital com o uso do *software* AutoCad Map<sup>®</sup>, para obtenção de um mapa prévio do local pesquisado. De posse dessa base cartográfica dá-se início aos estudos em campo visando: a coleta e a descrição das amostras de rochas, solos e espécies vegetais; a identificação da disposição, do formato e da estabilidade das pilhas de estereis; a quantificação do volume de rejeitos da mineração de carvão; além de ajustes nos limites de cada uma das zonas determinadas em gabinete. Uma vez finalizados os levantamentos de campo são iniciados os trabalhos de laboratório, essenciais para a caracterização: a) do tipo de substrato rochoso - sua mineralogia, seu estado de alteração, sua capacidade para liberação de poluentes; b) dos aspectos físicos e químicos do solo; c) da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Nessa etapa também são determinadas a densidade e a diversidade da vegetação ocorrente nas diferentes zonas homólogas. A partir dos resultados obtidos é possível propor métodos de tratamento e reabilitação ambiental mais eficazes e diferenciados para cada zona homóloga.

**Palavras-chave:** mapeamento geológico-geotécnico; degradação ambiental; mineração de carvão; reabilitação de áreas degradadas.

**Área Temática:** Recuperação de Áreas Degradadas.

## INTRODUÇÃO

A Bacia Carbonífera de Santa Catarina, localizada no sul do referido Estado, vem sendo explorada para extração de carvão desde o final do século XIX, quando o minério era utilizado como fonte de energia para locomotivas, caldeiras industriais, navios e gaseificadores (GOTHE, 1993). Entretanto, foi a partir da década de 1940, com a criação da Companhia Siderúrgica nacional - CSN -, que a extração mecanizada de carvão em Santa Catarina ganhou impulso.

O processo de mineração de carvão a céu aberto - pouco expressivo nos dias atuais, mas que predominou nas regiões de Siderópolis-SC e Treviso-SC, desde os anos de 1940 até o final da década de 1980 - utilizando equipamentos do tipo *draglines* para decapeamento e *shovel* para extração do minério, produziu uma topografia caracterizada por cônicas pilhas de rochas estereis, com até 25 metros de altura, alinhadas em filas paralelas e entremeadas por profundos cortes nos terrenos, onde se acumulam águas de drenagem e de precipitação (ECP, 1982; CPRM/DNPM, 1984; JICA, 1998; IPAT/UNESC, 2002a e b, 2003a, b, c e d).

Os métodos de remoção do capeamento do carvão utilizados antigamente conduziram à inversão dos horizontes de solo e rocha com relação às suas posições estratigráficas originais. Assim, as camadas antes aflorantes, passaram a ocupar, com a exploração, a base das pilhas de estereis. Já as litologias imediatamente sobrepostas ao leito de carvão recobrem hoje os montes de estereis. Essa inversão de horizontes expõe à ação intempérica os materiais potencialmente poluidores, fazendo com que haja inúmeras fontes pontuais de contaminação espalhadas pelas áreas mineradas (IPAT/UNESC, 2002a e b).

Embora tenha se passado mais de meio século desde o início das atividades extensivas de extração mecanizada de carvão a céu aberto, e cerca de 15 anos da paralisação da última grande mina a céu aberto na Bacia Carbonífera, a situação atual dos locais minerados, em termos topográficos, não difere muito da descrita nos trabalhos elaborados pela ECP (1982) e pelo CPRM/DNPM (1984), isto porque as pilhas de estereis mantêm-se dispostas como na época da mineração. Pontualmente, ocorreu significativa recuperação natural da vegetação e das características físico-químicas do solo (IPAT/UNESC, 2002a), embora a maior parcela dos terrenos minerados ainda se mantenha com vegetação incipiente, solos e águas ácidas.

O trabalho ora apresentado traz a metodologia adotada no mapeamento geológico-geotécnico de áreas degradadas pela mineração de carvão, que fornecem um retrato das condições físicas do local e subsídios para a proposição de medidas de reabilitação.

## DESENVOLVIMENTO

Os Projetos de Reabilitação de Áreas Degradadas (PRAD) pela extração de carvão mineral a céu aberto em Santa Catarina normalmente abrangem dezenas ou até centenas de hectares. A extensão das antigas áreas de mineração, aliado ao curto prazo para realização dos mapeamentos em escala de projeto (1:1.000), requerem um planejamento detalhado das etapas de trabalho tanto em escritório como em campo. Assim, a adoção da técnica de zoneamento ambiental a partir da divisão da área a ser pesquisada em zonas homólogas torna mais objetivos os trabalhos de campo.

A metodologia empregada na avaliação do grau de degradação de áreas que foram afetadas pela mineração de carvão no sul de Santa Catarina segue a proposta por CHRISTIAN e STEWART (1953) *apud*

GRANT e LOWICK (1967), também descrita por KOPEZINSKI (2000), na qual a execução do mapeamento geotécnico de determinada área possibilita uma análise integrada de informações referentes ao substrato rochoso, aos tipos de solos, às características geotécnicas e de vegetação do local.

Esses autores consideram o estudo dos solos e de suas propriedades físico-químicas, de extrema importância para a caracterização dos processos de degradação atuantes em determinada área, bem como para o reconhecimento dos processos de regeneração. Com base no princípio da similaridade do comportamento dos solos é possível estabelecer uma divisão do local pesquisado em diferentes sistemas. Esses sistemas definem zonas homólogas de origem geomorfológica e litológica comum, com condições ambientais diferentes entre si.

BIRKELAND (1990) detalha que o uso de homogeneidade de feições (*landform*) proporciona uma melhor compreensão dos materiais associados, sejam eles inconsolidados ou não. Além disso, mapas e cartas resultantes dessa metodologia representam o relacionamento de solos e suas unidades geotécnicas ante a gradação. Esse tipo de mapeamento determina o método de avaliação do terreno baseando-se no reconhecimento, interpretação e análise de feições de relevo definidas como reflexos dos processos naturais atuantes sobre os materiais da superfície terrestre, devendo espelhar as condições dos mesmos (LOLLO, 1996).

Quatro parâmetros básicos são utilizados nos mapeamentos geotécnicos da atualidade, todos seguindo a classificação de terrenos proposta por GRANT (1970):

- Característica dos taludes;
- Substrato rochoso;
- Característica do solo;
- Característica da vegetação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico aplicados em PRADs elaborados pelo IPAT/UNESC (2002a e b, 2003a, b, c e d), se iniciam com a definição de zonas de características semelhantes com base na interpretação de fotografias aéreas. A partir da fotointerpretação com o uso de estereoscópio de espelho, ou do reconhecimento visual do local em imagens digitais, são identificados os diferentes padrões de geologia, de relevo e de vegetação. Com base nestas informações e nos trabalhos iniciais em campo são delimitadas as zonas homólogas (ZH), produzindo um mapa prévio (figura 1). Quanto maior a escala, ou melhor a resolução espacial das imagens aéreas, mais fácil será a definição das ZHs.

Os trabalhos de campo são processados a partir de levantamentos detalhados das características geológicas e geotécnicas do local como: as condições físicas das pilhas de estéréis e depósitos de rejeitos; composição química e mineralógica das rochas que as compõem; graus de alteração do substrato rochoso; graus de desenvolvimento da vegetação; e identificação de áreas fontes de contaminação.

A evolução dos levantamentos de campo irá definir a necessidade de ajustes nos limites das ZHs identificadas por fotointerpretação.

As pilhas de estéréis presentes nas áreas degradadas da região de Siderópolis-SC e Treviso-SC são normalmente constituídas por blocos centimétricos a métricos de arenitos cinza-esbranquiçados a esbranquiçados, siltitos acastanhados a acinzentados e folhelhos cinza-escuro, rochas pertencentes à Formação Rio Bonito e que, antes da mineração, se intercalavam em camadas sobre a jazida de carvão Barro Branco.



*Figura 1 – Zoneamento geológico-geotécnico em área degradada pela mineração de carvão, realizado a partir de fotografia aérea em formato digital.*

De maneira geral o desenvolvimento da vegetação sobre as pilhas de estéreis, tanto em termos de densidade como em variedade e porte, está relacionado às características geológicas e conseqüentemente às dos solos. Assim, nas zonas onde há pilhas de estéreis com predominância de folhelhos e siltitos são encontrados solos mais espessos e desenvolvidos, enquanto nas pilhas compostas em sua maior parte por arenitos, principalmente aqueles piritosos, o solo praticamente inexistente e, portanto, a vegetação é rara.

Havendo necessidade, após os levantamentos de campo e avaliação dos resultados de análises laboratoriais, as zonas identificadas podem ser agrupadas em blocos distintos, dentro dos quais são identificadas condições semelhantes de degradação facilitando, assim, o tratamento diferenciado no que diz respeito às propostas de reabilitação ambiental (figura 2). As características da área de estudo são então descritas em tabelas anexadas aos mapas geológico-geotécnicos conforme apresentado na tabela 1.

A delimitação de zonas ou blocos com características semelhantes é de fundamental importância na fase de mapeamento. Entretanto, mais do que isso, essa metodologia favorece a adoção de medidas de reabilitação diferenciadas de acordo com o grau de comprometimento de determinado compartimento. Assim, realizado um bom diagnóstico ambiental, fundamentado no mapeamento geológico-geotécnico associado a análises físicas e químicas das rochas, dos solos e das águas é possível propor medidas de controle de fontes contaminantes como a remodelagem da superfície do terreno; a reconstrução do solo; a reintrodução de espécies vegetais nativas; a retirada e a deposição controlada dos rejeitos encontrados na área; além de medidas de manutenção da qualidade ambiental como a preservação de lagoas artificiais com água de boa qualidade e de “ilhas” de vegetação naturalmente regeneradas. Com essas ações busca-se reestabelecer o equilíbrio natural do ambiente, propiciando o retorno e a manutenção da fauna e da flora nativa, além de eliminar ou isolar as fontes de poluição visando a melhoria da qualidade do solo e dos recursos hídricos.

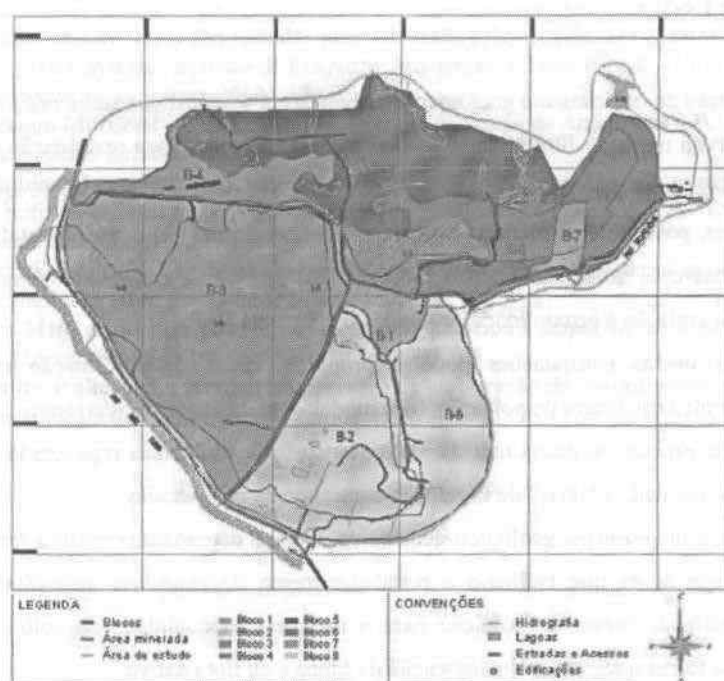


Figura 2 – Mapa de Blocos com características geológica-geotécnicas semelhantes em área degradada pela extração de carvão mineral.

Tabela 1 – Descrição sucinta das características físicas e biológicas de blocos homólogos definidos em antiga área de mineração de carvão.

### BLOCOS

	GEOLOGIA	SOLOS	VEGETAÇÃO
1	Siltito alaranjado a avermelhado, fraturado, empastilhado com desenvolvimento de solo silte-arenoso a silte-argiloso	Solo podzólico vermelho alíco, com textura média a argilosa	Vegetação relativamente densa, apresentando estrato arbustivo-arbóreo e gramíneas
2	Blocos soltos (5 a 50 cm) de arenito piritoso, siltito cinza, folhelho negro carbonoso e, em algumas zonas, rejeitos de carvão	Desenvolvimento de substrato arenoso e em algumas zonas de solo incipiente arenoso	Vegetação diferenciada em função da cobertura do solo desigual. Parte com vegetação densa (estrato arbustivo-arbóreo), parte só com eucaliptos e parte sem vegetação
3	Arenito piritoso, folhelho, siltito carbonoso. Na base das pilhas da zona 13 aparecem afloramentos de arenito grosseiro	Parte da área com desenvolvimento de substrato argiloso com matéria orgânica (principalmente no topo da pilha)	Semelhante ao bloco 2
4	Siltito e folhelhos alterados a muito alterados, ocreos a arroxeados	Uma das áreas mais preservadas do local, com cobertura de argila e, em parte, de cama de aviário por sobre os estéréis	Vegetação densa variada e de parte considerável com estrato arbóreo-arbustivo e capoeirão
5	Arenito quartzoso com folhelho micáceo e rejeito piritoso. Na zona 24 nota-se depósitos de argilas por sobre os estéréis e rejeito	Área bem degradada. Parte apresenta um substrato argiloso com 10 a 25 cm de espessura misturado aos estéréis e rejeito	Semelhante ao bloco 2 com vegetação diferenciada em função da cobertura do solo desigual. Cobertura vegetal rala apresentando estrato arbustivo-arbóreo e gramíneas
6	Siltito alterado. Na zona 29 boa parte não foi lavrada, permanecendo afloramentos de siltito com intercalações de arenito muito fino e folhelho negro	Área heterogênea. Parte apresenta uma camada densa de argila e outras misturadas com estéréis	Vegetação densa com estrato arbustivo-arbóreo e capoeirão
7	Área desmatada degradada pela utilização agrícola com solos podzólico vermelho amarelo		Campo com ocorrência de eucalipto

## CONCLUSÕES

A aplicação do mapeamento geológico-geotécnico em diagnósticos ambientais de áreas degradadas pela mineração de carvão tem sido fundamental na definição de soluções para reabilitação dos locais estudados. A aplicação de tais técnicas por pesquisadores do IPAT/UNESC, de forma inédita em áreas alteradas por carvão em Santa Catarina, possibilita: i) planejar estudos em extensas áreas; ii) definir áreas-fontes de contaminantes; iii) delimitar zonas com diferentes graus de regeneração ambiental; e mapear locais com riscos geológicos, especialmente com relação à instabilidade de taludes inconsolidados.

A partir dessas constatações pode-se propor medidas de reabilitação como: a) isolamento e neutralização química das fontes de poluição; b) remodelagem da superfície do terreno; c) reconstrução do solo; c) reintrodução de espécies vegetais nativas; d) preservação de ambientes regenerados como lagoas artificiais com água de boa qualidade e "ilhas" de vegetação naturalmente recuperadas.

Portanto, o mapeamento geológico-geotécnico de áreas degradadas constitui ferramenta importante para subsidiar e planejar ações que facilitem o restabelecimento do equilíbrio ambiental de determinado local, eliminando ou isolando fontes de poluição para a melhoria da qualidade do solo e dos recursos hídricos, propiciando dessa forma o retorno e a manutenção da fauna e da flora nativa.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), representada pelos engenheiros Paulo César Dib e Hilton Antônio Gevieski, pela disponibilização de informações referentes aos Projetos de Reabilitação de Áreas Degradadas contratadas pela empresa junto ao Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas (IPAT) da UNESC.

## REFERÊNCIAS

- BIRKELAND, P.W. *Soil-geomorphic research – a selective overview*. Amsterdam – Netherlands, 1990. p.207-224.
- CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais / DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto estudo da vulnerabilidade à contaminação dos mananciais subterrâneos decorrente da extração do carvão mineral**. Porto Alegre: DNPM-CPRM, 1984. 2v.
- ECP - Engenheiros Consultores e Projetistas. **Projeto G – Fiorita / Mãe Luzia – Correção da poluição do Sistema Hídrico**. ECP/FATMA. Programa de conservação e recuperação ambiental da região sul de Santa Catarina. Florianópolis, 152p. 1982.
- GRANT, K.; LOWICK, G.D. **Storage and retrieval of information in terrain classification system**. Producing 4<sup>th</sup> Conf. Na. Roads Railways Builders, 1967.
- GOTHE, C.A. de V. **Avaliação de impactos ambientais da indústria carbonífera nos recursos hídricos da região sul catarinense**. Florianópolis: UFSC, 1993. (Dissertação de Mestrado). 123 p.
- GRANT, K. **Terrain evaluation. A logical extension of engineering geology**. Austrálie. P<sup>a</sup> E.g. – Paris, 1970.
- IPAT/UNESC – Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas / UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Diagnóstico Ambiental Mina Malha II Leste – Santa Catarina**. Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Relatório técnico. Criciúma, 2002a, 121p.
- \_\_\_\_\_. **Projeto de reabilitação Ambiental de Áreas Degradadas pela atividade extrativa de carvão mineral Campo Malha II Leste Siderópolis – Santa Catarina**. Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Relatório técnico. Criciúma, 2002b, 57p.
- \_\_\_\_\_. **Diagnóstico Ambiental Mina Malha II Oeste Siderópolis – Santa Catarina**. Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Relatório técnico. Criciúma, 2002c, 111p.

\_\_\_\_ **Projeto de reabilitação Ambiental de Áreas Degradadas pela atividade extrativa de carvão mineral Campo Malha II Oeste Siderópolis – Santa Catarina.** Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Relatório técnico. Criciúma, 2002d, 57p.

\_\_\_\_ **Diagnóstico Ambiental Campo Morozini – Santa Catarina.** Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Relatório técnico. Criciúma, 2003a, 170p.

\_\_\_\_ **Projeto de reabilitação Ambiental de Áreas Degradadas pela atividade extrativa de carvão mineral Campo Morozini – Santa Catarina.** Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. Relatório técnico. Criciúma, 2003b, 84p.

JICA. Japan International Cooperation Agency. **The feasibility study on recuperation of mined out areas in South region of Santa Catarina State, the Federation Republic of Brasil,** 1998. 397 p.

KOPEZINSKI, I. **Mineração x Meio ambiente: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores.** Porto Alegre: Editora da Universidade. 103 p. 2000.

LOLLO, J. A. **O uso de técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadricula de Campinas.** São Carlos: EESC/USP, 1996. (Teste de doutorado).