

SÉRIE GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL

ARTIGO TÉCNICO Nº 4

**Metodologia de aplicação
do geoprocessamento na
avaliação da contaminação
por metal pesado em solo:
estudo de caso em área
confinada de indústria**

LUZIA ALICE FERREIRA DE MORAES

RONALDO LUIZ CORREA DOS SANTOS

LUIS GONZAGA SANTOS SOBRAL

SÉRIE GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL

**Metodologia de Aplicação do Geoprocessamento
na Avaliação da Contaminação por Metal Pesado
em Solo: Estudo de Caso em área Confinada de
Indústria**

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Luiz Inácio Lula da Silva

José Alencar Gomes da Silva

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Sérgio Rezende

Ministro da Ciência e Tecnologia

Luís Manuel Rebelo Fernandes

Secretário Executivo

Avílio Franco

Secretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Adão Benvindo da Luz

Diretor do CETEM

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

Zuleica Carmen Castilhos

Coordenadora de Planejamento, Acompanhamento e Avaliação

João Alves Sampaio

Coordenador de Processos Minerais

Antônio Rodrigues de Campos

Coordenador de Apoio à Micro e Pequena Empresa

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

José da Silva Pessanha

Coordenador de Administração

SÉRIE GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL

ISSN 1808-0863 ISBN 978-85-61121-14-3

SPGA-07

COLEÇÃO ARTIGOS TÉCNICOS Nº 4

Metodologia de Aplicação do Geoprocessamento na Avaliação da Contaminação por Metal Pesado em Solo: Estudo de Caso em área Confinada de Indústria

Luzia Alice Ferreira de Moraes

D.Sc. em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual de
Maringá

Ronaldo Luiz Correa dos Santos

Engenheiro Químico, EQ/UFRJ; M.Sc. em Engenharia Metalúrgica e
Materiais pela COPPE/UFRJ e Pesquisador Titular do CETEM/MCT

Luis Gonzaga Santos Sobral

Engenheiro Químico, Ph.D. em Hidrometalurgia, Pesquisador
Titular do CETEM/MCT

CETEM/MCT

2006

SÉRIE GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Paulo Sergio Moreira Soares

Editor

Roberto de Barros Emery Trindade

Subeditor

CONSELHO EDITORIAL

Ronaldo Luiz Correa dos Santos (CETEM), Maria Dionísia C. dos Santos (CETEM), Olavo Barbosa Filho (PUC-RJ), Afonso Rodrigues Aquino (USP), Josimar Ribeiro de Almeida (UFRJ).

A Série Gestão e Planejamento Ambiental tem como objetivo principal difundir trabalhos realizados no CETEM, ou em parceria com colaboradores externos, assim como trabalhos independentes considerados relevantes na área de gestão e planejamento ambiental e temas correlatos.

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Jackson de Figueiredo Neto

Coordenação editorial

Thatyana Pimentel Rodrigo de Freitas

Revisão de Provas

Ana Sofia Mariz

Capa, projeto gráfico e diagramação

Maria Helena Hatschbach

Revisão

Moraes, Luzia Alice Ferreira de

Metodologia de aplicação do geoprocessamento na avaliação da contaminação por metal pesado em solo: estudo de caso em área confinada de indústria/Luzia Alice Ferreira de Moraes, Ronaldo Luiz Correa dos Santos, Luis G. Santos Sobral. — Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2007.

36p. (Série Gestão e Planejamento Ambiental, 07)

1. Contaminação do solo. 2. Metais pesados. 3. Geoprocessamento. 4. Sensoriamento remoto I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Santos, Ronaldo L. Correa. III Sobral, Luis G. Santos. IV Título.

CDD – 631.45

SUMÁRIO

RESUMO/ABSTRACT ▶ 7

1 | INTRODUÇÃO ▶ 9

1.1 | A importância da utilização do geoprocessamento na avaliação de impactos ambientais ▶ 10

2 | ÁREA INDUSTRIAL ▶ 11

3 | PROCEDIMENTOS ▶ 12

3.1 | Geoprocessamento ▶ 12

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO ▶ 18

4.1 | Classificação supervisionada da imagem ▶ 18

4.2 | Classificação não supervisionada da imagem ▶ 21

4.3 | Modelo Numérico de Terreno (MNT) ▶ 23

5 | CONCLUSÕES ▶ 28

6 | AGRADECIMENTOS ▶ 30

7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ▶ 31

RESUMO

O presente trabalho visa demonstrar a metodologia de emprego da ferramenta geoprocessamento na avaliação da contaminação por metal pesado no interior de uma indústria, usando a construção de modelos numéricos de terreno (MNT). Os programas de sistema de informação geográfica usados neste trabalho foram o spring 4.3, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), de acesso livre pela internet, bem como o ArcView 9.1 adquirido pelo CETEM. Para a realização deste estudo foram obtidos dados em formato digital como a ortofoto de uma área urbana ocupada por indústrias, galpões e residências, bem como dados vetoriais das curvas de nível e ocupações no entorno, adquiridos no Instituto Pereira Passos (IPP). A digitalização dos galpões da indústria, rios, estradas e pontos de sondagem foi realizada em tela de computador, usando a ortofoto como base. A classificação da ortofoto da área censa do estudo mostrou que está influenciada por ações antrópicas, sendo que 42% de sua ocupação é referente às áreas urbana e industrial. A partir da grade triangular de amostragem que abrangeu uma área de cerca de 21.000 m², correspondendo a 28,2%, da área total confinada da indústria, permitiu a geração dos modelos numéricos de terreno (MNT) nas diferentes profundidades sondadas. Para o modelo de fatiamento, os teores de metal foram

ABSTRACT

The aim of this study case was to apply geoprocessing techniques for evaluating heavy metal concentrations in an industry area. For this purpose, it was used SPRING 4.3 software, a geographic information system developed by Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), as well as ArcView, acquired by CETEM. An orthophoto, available in digital format as well as vectorial data (e.g., surrounding occupation and level curves) was obtained in Instituto Pereira Passos (IPP). Vectorization of the building area, river, street and drilling points was made in a computer screen using an orthophoto as base. The results of the image supervised classification (pixel to pixel) showed that the area is strongly influenced by the anthropic actions. Approximately 42% of the land use was classified as urban and industrial. Unsupervised classifications (by regions) were shown to be unproper because of the different spectral responses obtained for the same class, leading to artificial subdivisions of the classes. A numeric terrain model (NTM) was used to elaborate maps for soil heavy metal hypsometric curves. Metal concentrations were classified into 6 levels (1 to 6). The level one had the lowest interval of concentrations. The MNT model showed two main sites with higher heavy metal concentrations above 1,5m deep.

Key words: methodology; geoprocessing; industry; heavy metal

classificados em 6 níveis de 1 a 6, sendo que o nível 1 teve o intervalo de concentrações mais baixas. Os modelos mostraram existir dois focos principais, nos quais estão os níveis mais altos de concentração em profundidades superiores a 1,5m. A partir de 2,5m de profundidade o número de amostras foi insuficiente para a elaboração do MNT.

Palavras-chave: metodologia; geoprocessamento; indústria; metal pesado

1 | INTRODUÇÃO

O termo geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de tecnologias usadas para a coleta e tratamento de informações espaciais para atingir um determinado objetivo. As atividades que envolvem o geoprocessamento são executadas por sistemas específicos para cada aplicação. Esses sistemas são mais comumente tratados como Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Um Sistema de Informação Geográfica é, pois, destinado ao processamento de dados georeferenciados, desde a sua coleta (*inputs*) até a geração de saídas (*outputs*) na forma de mapas, relatórios estatísticos, arquivos digitais, etc.

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) compreende, em geral, um *hardware*, o computador, bem como os *softwares* que, via de regra, incluem os programas para a manipulação das informações espaciais, permitindo, assim, a análise do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem.

A partir da utilização dos SIGs, pode-se capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e representar todas as formas de informações referenciadas geograficamente (CALIJURI, 1997). Um SIG poderá trabalhar com diferentes modelos, quais sejam: modelo raster ou matricial, modelo vetorial, modelo numérico, dentre outros.

Os campos de aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica são muito vastos, podendo-se utilizá-los em várias áreas de atuação como: cartografia, estudos de impacto ambiental (AIA-EIA/RIMA), oceanografia, geologia, hidrologia, ecologia, área militar (exército, marinha, aeronáutica), dentre outras.

Quando aplicado em estudos de avaliação ambiental, o SIG é uma ferramenta eficiente e eficaz contribuindo, não somente para um melhor planejamento do uso do solo e da água em áreas impactadas (CARNEIRO, 2003; GARCIA *et al*, 2006; MORAES, 2000; PEIXOTO, 2002), mas também para auxiliar no processo decisório quanto à área de intervenção. O uso dessa tecnologia permite, portanto, um estudo contínuo e evolutivo de determinada situação, integrando diferentes dados e transformando-os em informações atualizadas.

Neste caso particular, o sistema de informação geográfica foi utilizado para mapear, identificar e analisar as áreas de distribuição de um metal pesado no solo de uma unidade da indústria química, para subsidiar uma tomada de decisão, com vistas à melhoria contínua da gestão ambiental.

1.1 | A importância da utilização do geoprocessamento na avaliação de impactos ambientais

O avanço da informática nos últimos anos veio implementar os estudos de avaliação ambiental, mediante a utilização do geoprocessamento, permitindo a manipulação de banco de dados cada vez mais extensos. A cartografia manual passou a ser automatizada, facilitando e agilizando os estudos de impacto ambiental, com a elaboração de mapas digitais em diferentes níveis (estadual, municipal e regional) e escalas.

A ferramenta geoprocessamento pode, portanto, ser empregada em todas as etapas do Estudo de Impacto Ambiental, como também para a obtenção do licenciamento de atividades, tanto na caracterização do empreendimento, identificação da área de influência, monitoramento como no prognóstico. A vantagem de permitir uma atualização contínua das informações e das análises obtidas abre, inclusive, perspectivas para a realização de simulações de cenários que determinarão os impactos prováveis, significativos e passíveis de ocorrerem caso as alternativas escolhidas não sejam implementadas ou as medidas de controle não sejam tomadas.

O geoprocessamento é uma ferramenta reconhecida na identificação de áreas potencialmente contaminadas (CETESB, 2001). É um dos instrumentos usados na gestão nacional de recursos hídricos (Lei 9.433) e é considerado também como um dos instrumentos fundamentais da política de preservação ambiental, mediante a obrigatoriedade imposta pelas Resoluções CONAMA (001/86; 011/86; 02/91; 06/88; 357/05) e ABNT (10.004; 10005; 10006; 10007).

2 | ÁREA INDUSTRIAL

A área de estudo está compreendida na ortofoto 1:10.000 adquirida no Instituto Pereira Passos (IPP), referente ao ano de 2000, folha 261-E, cortada nos limites da indústria (Figura 1).



FIGURA 1. Ortofoto cortada nos limites da cena de estudo, mostrando os pontos de sondagem.

3 | PROCEDIMENTOS

3.1 | Geoprocessamento

A) IMPORTAÇÃO DE DADOS

Os dados de imagem, vetoriais e matriciais foram importados para o banco de dados do SPRING 4.3 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) para serem efetuadas as etapas de geoprocessamento, digitalização, classificação, fatiamento, segmentação e edição final de mapas dos isovalores do metal, segundo os resultados analíticos do elemento.

B) REALCE POR MANIPULAÇÃO DE HISTOGRAMA

Antes da manipulação da ortofoto foi realizado um contraste linear, mediante a realização de um procedimento de ajuste de histogramas (TAGLIANI, 2002), para melhorar a qualidade da imagem.

Foi utilizado o modelo de contraste linear, no qual a função de transferência é uma reta. A inclinação da reta controla o aumento da intensidade do contraste, enquanto o ponto de interseção com o eixo de x controla a intensidade média da imagem final.

C) EDIÇÃO VETORIAL

A edição dos dados vetoriais foi executada usando o mesmo programa SPRING 4.3, tendo sido realizada em tela de computador.

A partir da ortofoto da área, foram digitalizados o limite e galpões da indústria, fazendo-se uma atualização coerente para o período de estudo. Os pontos da sondagem foram inseridos no banco de dados do SPRING 4.3 a partir de uma amarração realizada em campo, utilizando uma trena.

E) MOSAICAGEM

Na operação de mosaicagem pode-se unir ou sobrepor imagens matriciais (raster) e vetoriais (linhas e pontos), juntando diferentes camadas com os dados relacionados, permitindo, assim, a visualização de todas as condições de contorno do problema, em um ou vários mapas, conforme o interesse da abordagem.

Os dados vetoriais identificados na Figura 2, como: galpões pertencentes a empresa e os pontos de perfuração das sondagens, rio, rua e limites da indústria foram sobrepostos a imagem raster (ortofoto), para a composição final da cena de estudo.

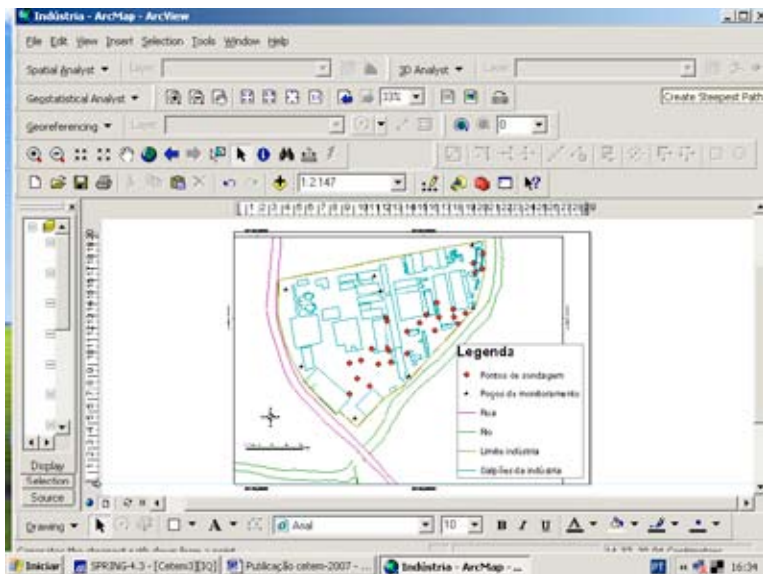


FIGURA 2. Área digitalizada da indústria mostrada em tela do ArcView.

F) CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM

A classificação é o processo que permite a extração de informação de imagens para reconhecer padrões e/ou objetos homogêneos. Consiste no estabelecimento de um processo de decisão no qual um grupo de pixels é definido como pertencente a uma determinada classe. A partir da classificação pode-se identificar as áreas ocupadas pelas diferentes classes temáticas.

A classificação estatística é o procedimento convencional mais utilizado na análise digital de imagens. A informação de uma cena pode ser representada por uma imagem espectral, na qual cada “pixel” tem as coordenadas espaciais x , y e a coordenada espectral L , que representa a radiância de um alvo no intervalo de comprimento

de onda de uma banda espectral. É característico, ainda, que cada “pixel” de uma banda possua uma correspondência espacial com um outro “pixel”, em todas as outras bandas. Assim, para uma imagem de k bandas, existem k níveis de cinza associados à cada “pixel”, sendo um para cada banda espectral.

Para o estudo de caso analisado foram relacionados dois tipos de classificação: a não supervisionada e a supervisionada.

Segundo (VENTURIERI e SANTOS, 1998), o método de classificação é dito supervisionado quando existe algum conhecimento prévio de algumas áreas em que se deseja trabalhar, o que permite a seleção de amostras de treinamento confiáveis. O método é dito não-supervisionado quando o classificador não utiliza a *priori* algum conhecimento sobre as classes existentes na imagem e define, sem a interferência do analista, a estratificação da cena, atribuindo a cada pixel uma determinada classe.

Para a classificação multiespectral da ortofoto da área escolheu-se o método MAXVER (Máxima Verossimilhança), englobando 100% da área-alvo de estudo. Esse método classifica a imagem “pixel a pixel”, considerando a ponderação das distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos (BLASCHKE & STROBL, 2002; ATKINSON, 2004). A partir da análise das amostras foi avaliado o desempenho de cada amostra de treinamento em relação às demais e ao conjunto de classes estudadas. Segundo Venturieri e Santos (1998), a regra de decisão deste método de máxima verossimilhança pressupõe que várias classes têm a mesma probabilidade de ocorrência, fato que na prática nem sempre ocorre.

O treinamento supervisionado de classificação (RICHARDS, 1999) deve ser realizado por meio da escolha de amostras significativas e, ao mesmo tempo, incluir toda a variabilidade dos níveis de cinza do tema em questão para evitar/diminuir a ocorrência de confusão dos alvos espectrais.

Para classificação não-supervisionada da ortofoto utilizou-se o algoritmo Isepeg com os limiares de 99,9%, por meio do qual a imagem foi segmentada em regiões. Entende-se por regiões um conjunto

de “pixels” contíguos, que se espalham bidirecionalmente e que apresentam uniformidade. A região agrupa pixels semelhantes que, dependendo do grau de similaridade, poderá abranger diferentes extensões de áreas. A medida de similaridade foi baseada na distância euclidiana entre os valores médios dos níveis de cinza de cada região. Duas regiões são consideradas distintas se a distância entre as médias for superior ao limite de similaridade escolhida. Para efeito da classificação não-supervisionada, escolheu-se três modelos baseados na mesma similaridade e considerando áreas diferentes.

Na classificação não-supervisionada, usando o programa SPRING 4.3, o algoritmo Iseseg, primeiramente, divide a imagem em regiões, sendo que em uma segunda etapa faz a classificação dessas regiões, fundamentada na teoria de agrupamentos. De modo geral, as regiões de maior área são aquelas de maior representatividade da classe (VENTURIERI & SANTOS, 1998).

Nessa etapa de treinamento do exercício foram levadas em consideração sete classes temáticas: 1) hidrologia, 2) solo exposto, 3) área urbana, 4) área industrial, 5) mata (englobando árvores e arbustos), 6) grama/horta (englobando vegetação rarefeita, grama, mato queimado e horta) e 7) sombra.

Após o exercício final de classificação dos temas foi efetuada a medição da área ocupada em cada classe temática, usando, ainda, o programa SPRING 4.3.

G) MODELO NUMÉRICO DE TERRENO

O modelo numérico de terreno (MNT) é a representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica, que está vinculada a uma superfície real. Dentre alguns de seus usos pode-se citar: armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos, elaboração de mapas de declividade, análise de variáveis geofísicas e geoquímicas, apresentação tridimensional dos alvos de interesse.

Usando o programa SPRING 4.3 é possível gerar os MNT a partir de uma grade de pontos, regular e irregular, que permite calcular

áreas, volumes, gerar imagens sombreadas, gerar fatiamentos nos intervalos desejados, etc. A quantidade de dados amostrados está diretamente relacionada à qualidade do produto final.

H) GERAÇÃO DE PONTOS PARA A MODELAGEM NUMÉRICA

O primeiro passo consistiu na edição de pontos onde foram feitas as sondagens e analisadas as concentrações do metal. A partir dessas amostras foram geradas as grades retangular e triangular.

Numa etapa seguinte foi feita a medição da área ocupada pela indústria, bem como da área da grade triangular, contendo os vários pontos de coleta de amostras de solo.

I) GERAÇÃO DE GRADES RETANGULAR E TRIANGULAR

As grades retangular e triangular foram geradas a partir dos resultados das análises da concentração de metal nas amostras de solo, no interior da indústria.

Em acordo com a lógica do programa SPRING 4.3, quando se usa a modelagem da superfície por meio de uma grade irregular triangular, cada polígono que forma uma face do poliedro é um triângulo. Os vértices do triângulo são, geralmente, os pontos amostrados na área de estudo.

Esta modelagem, considerando as arestas dos triângulos, permite que as informações morfológicas importantes, como as discontinuidades que são representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando, assim, modelar a superfície do terreno, preservando as feições geomorfológicas da superfície.

J) GERAÇÃO DE ISOLINHAS E FATIAMENTO

As isolinhas foram geradas a partir das concentrações de metal obtidas nas coletas de solo, utilizando-se a grade retangular, procurando não ultrapassar os limites da área amostrada. A geração das isolinhas obedeceu ao mesmo fatiamento utilizado para a elaboração do mapa hipsométrico. Os temas da imagem temática fatiada corresponderam aos intervalos de valores, no caso do trabalho, da concentração de metal pesado no solo.

Portanto, cada fatia foi associada a uma classe temática para permitir a geração de mapas com a identificação das áreas e o perfil das concentrações de metal no solo, em cada profundidade analisada.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 | Classificação supervisionada da imagem

A classificação Maxver, englobando 100% da imagem (Figura 3), mostra a indústria e seu entorno coberto, principalmente, por área urbana e industrial.

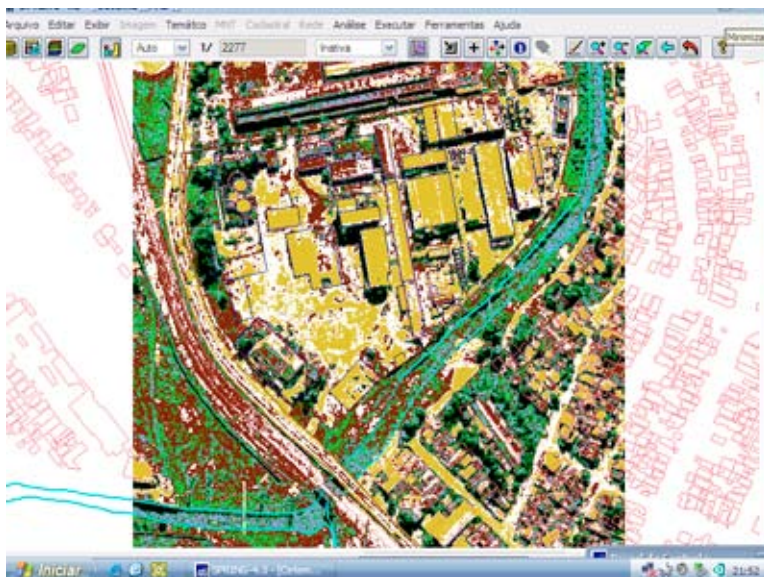


FIGURA 3. Ortofoto classificada segundo o algoritmo Maxver 100%.

Houve muita semelhança entre galpões de indústrias, telhados e/ou coberturas de casas. A coloração do rio, cinza escura, foi confundida com áreas urbanas e industriais bem como com a estrada de asfalto que margeia a indústria, com a coloração mais escura.

Assim, a área industrial deve ser maior do que a que está classificada pelo programa. Da mesma forma, a área de hidrologia, provavelmente, possui uma área menor do que a classificada. No exercício de classificação, apesar da exclusão das amostras com maior confusão, não foi possível chegar a uma classificação que possamos considerar satisfatória. Segundo a lógica do SPRING 4.3, uma matriz de classificação ideal deve apresentar os valores da diagonal

principal próximos a 100%, indicando que não houve confusão entre as classes. Contudo, esta é uma situação difícil em imagens com alvos de características espectrais semelhantes, como foi o caso da ortofoto de estudo.

A Figura 4 mostra as medidas das classes temáticas em m². Nota-se a predominância das áreas urbana e industrial. Ressalte-se, entretanto, que algumas áreas que na realidade eram urbanas ou industriais foram classificadas como áreas expostas. Da mesma forma, algumas áreas classificadas como expostas na realidade eram coberturas de edificações urbanas. Alguns trechos de ruas e trilhos também foram confundidos com classe urbana e industrial não sendo destacados, pois, como área exposta.

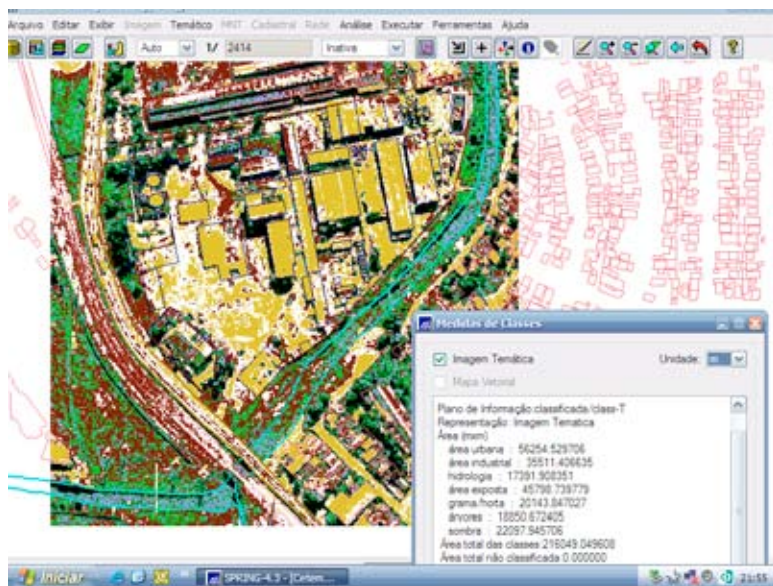


FIGURA 4. Cálculo das áreas ocupadas pelas classes segundo o algoritmo Maxver 100%.

A Tabela 1 mostra as porcentagens de cada classe temática para as imagens classificadas, segundo o algoritmo Maxver 100%. De acordo com o resultado, a classe urbana/industrial ocupa cerca de 43% da cena total de estudo, seguida da classe exposta. O percentual da classe hidrologia foi considerado alto em relação às classes

grama/horta e sombra e, ainda, em função da relativamente elevada confusão espectral entre as ruas asfaltadas do entorno e a coloração da água do rio.

TABELA 1. Classificação Maxver 100% ilustrando as áreas das diferentes classes temáticas.

Classificação Maxver	Classes temáticas(%)
1. Área urbana e industrial	42,48
2. Hidrologia	8,05
3. Área exposta	21,19
4. Sombra	10,23
5. Grama/horta	9,33
6. Mata	8,72
Total	100

O desempenho médio (Figura 5) calculado pelo método para a classificação de 100% da imagem foi de 62,69%, enquanto a confusão média das classes foi de 37,31%.

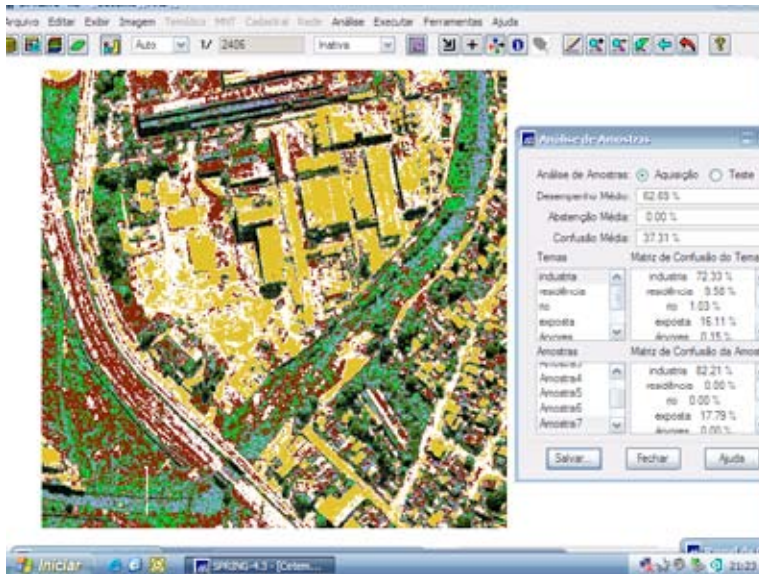


FIGURA 5. Desempenho médio e confusão média utilizando o algoritmo Maxver 100%.

4.2 | Classificação não supervisionada da imagem

As Figuras 6-8 mostram três modelos de classificação da ortofoto, de acordo com as medidas de similaridade e área: 10 e 2000 m², 10 e 1000 m² e 10 e 800 m², respectivamente.

A segmentação por regiões é uma técnica em que somente as regiões adjacentes espacialmente podem ser agrupadas. Os resultados mostraram que com o aumento da área e mantendo-se o mesmo valor de similaridade, os pixels pertencentes a classes diferentes foram englobados em uma mesma área. É o que mostra a Figura 6, indicando que o rio e as áreas urbanas foram agrupados. No caso das demais imagens segmentadas (Figuras 7-8), o programa separou uma mesma classe em vários segmentos. Essa segmentação é realizada a partir do agrupamento de pixels semelhantes que, no caso da ortofoto da área estudada, possuíam reflectâncias diferentes embora pertencentes à mesma classe temática.

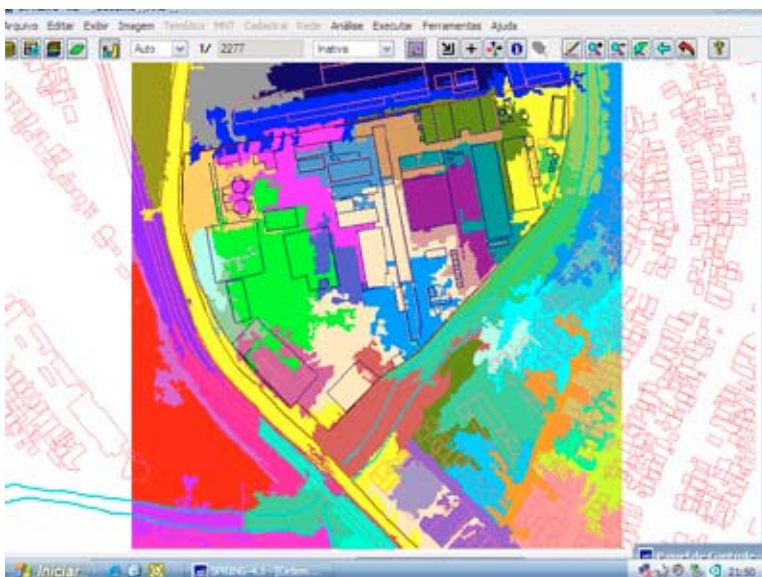


FIGURA 6. Segmentação da imagem (similaridade= 10, área= 2000 m²).

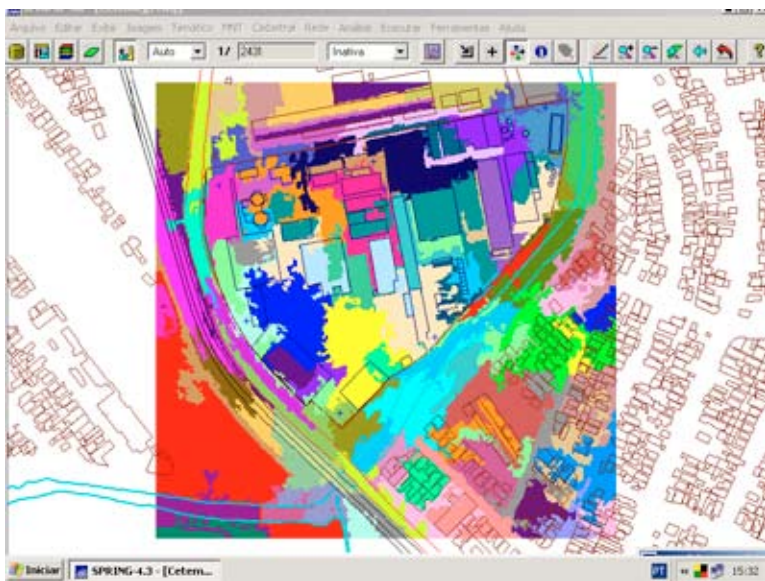


FIGURA 7. Segmentação da imagem (Similaridade 10, área 1000).

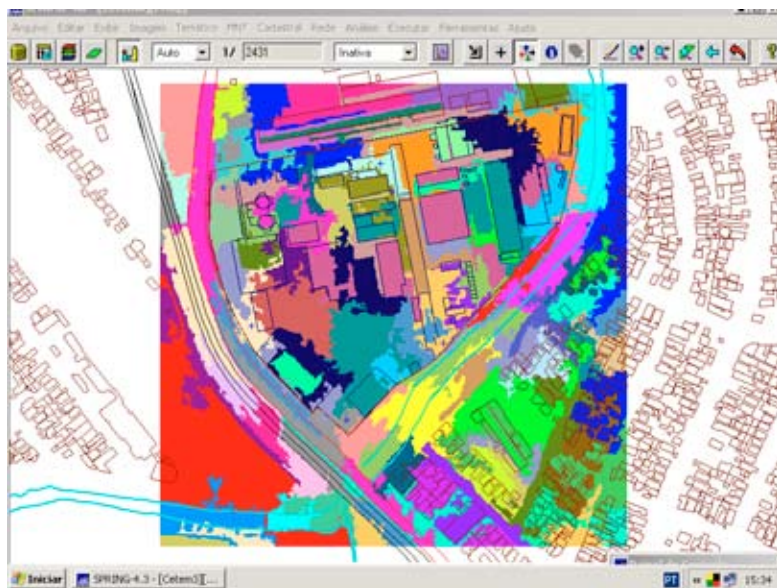


FIGURA 8. Segmentação da imagem (Similaridade 10, área 800).

4.3 | Modelo Numérico de Terreno (MNT)

A área calculada da grade triangular, contendo os pontos amostrados, é de 21.126,04 m², isto é, corresponde a 28,21% do total da área da indústria.

O modelo numérico de terreno foi utilizado para as profundidades de 0,5m, 1,0m e 1,5m e 2,0m. Para a elaboração desse modelo foram selecionadas distintas faixas de concentração, em cada profundidade amostrada.

Na profundidade de 0,5 metro (Figura 9), escolheu-se seis níveis para fatiamento que variaram entre 1 e 6, sendo o nível 1 considerado o mais baixo. O mapeamento dos isovalores para essa profundidade, situada na camada de aterro, apontou três focos com os maiores teores do metal.

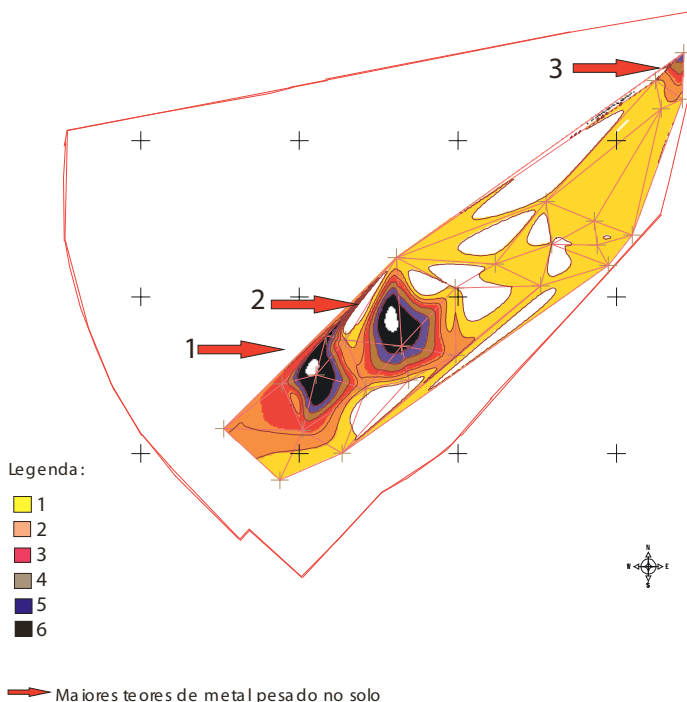


FIGURA 9. Modelo Numérico de Terreno para os valores de metal na profundidade de 0,5 metro.

Para o mapeamento dos valores de metal pesado no solo na profundidade de 1,0 metro (Figura 10) foram selecionadas 5 classes para o fatiamento, que variaram entre 1 e 5, sendo 5 o teor mais alto analisado. Nessa profundidade, observou-se o valor do metal no solo mais alto, indicado na seta de nº2.

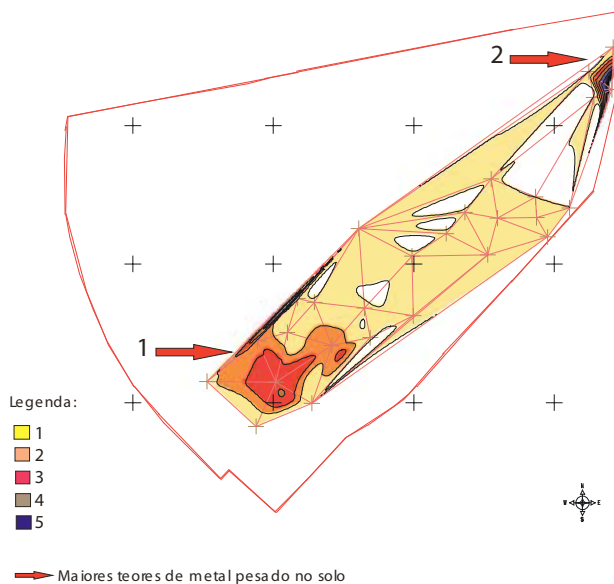


FIGURA 10. Modelo Numérico de Terreno para os valores de metal na profundidade de 1,0 metro.

Na profundidade de 1,5 metro (Figura 11), onde os teores de metal no solo estavam mais baixos, foi feito um fatiamento em 3 níveis, sendo o nível 3 o de maior concentração do metal. Nessa profundidade as concentrações estiveram mais baixas, não alcançando o nível 6, como observado nas profundidades de 0,5m, embora as áreas com maiores teores tivessem permanecido nas profundidades superiores.

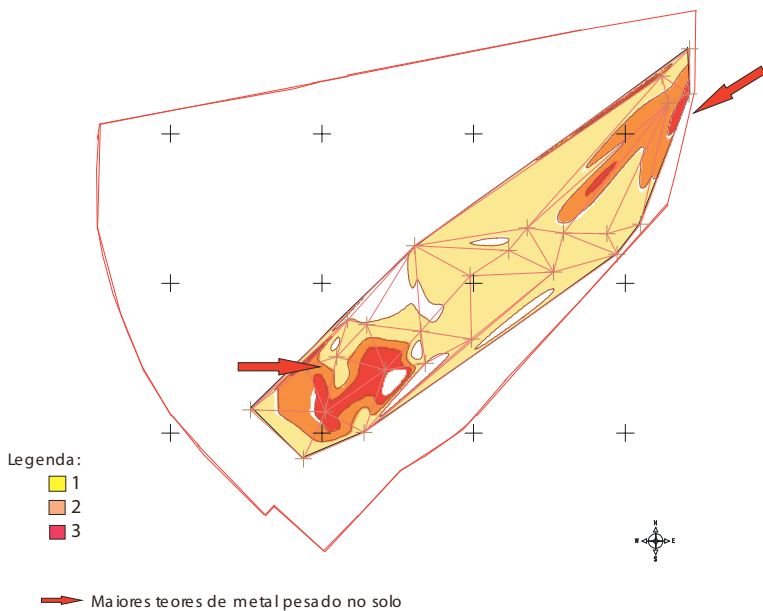


FIGURA 11. Modelo Numérico de Terreno para os valores de metal na profundidade de 1,5 metro.

Da mesma forma, para as sondagens de 2,0 metros (Figura 12) foram adotadas 3 classes de 1 a 3. Observa-se que a maior concentração de metal permanece ocorrendo nas mesmas áreas. Nas demais profundidades, entre 2,5 a 4,0 metros, o modelo numérico para fatiamento não foi realizado devido ao número insuficiente de amostras.

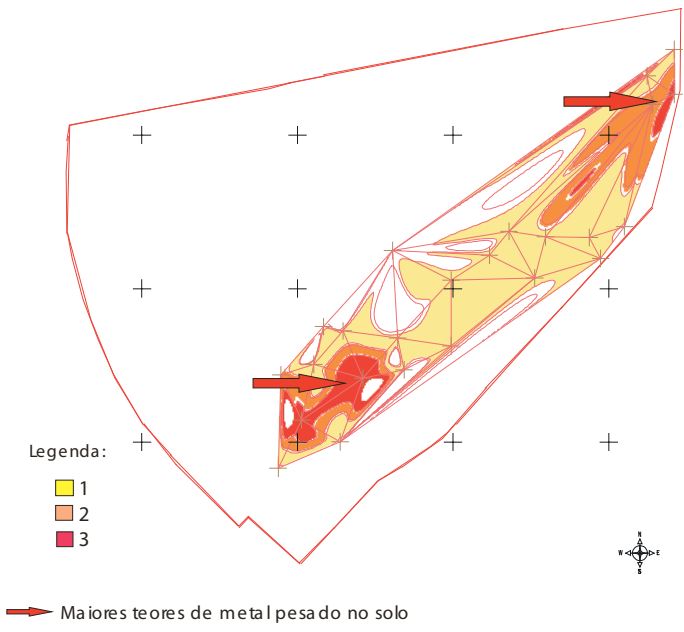


FIGURA 12. Modelo Numérico de Terreno para os valores de metal na profundidade de 2,0 metros.

5 | CONCLUSÕES

Os programas de SIG são cada vez mais utilizados em avaliações ambientais, diagnósticos, prognósticos, monitoramentos e modelagens, buscando o entendimento e a representação do mundo real.

A ferramenta de geoprocessamento se mostrou eficiente e eficaz na avaliação e mapeamento das concentrações do metal na área da indústria.

A classificação supervisionada da ortofoto, que utilizou o algoritmo Maxver (100%), apresentou um desempenho de cerca de 63%, levando-se em consideração, ainda, a confusão dos alvos que foi de 37%.

A grade triangular, que demarcou os pontos sondados, permitiu que a modelagem das concentrações do metal não excedesse a área de estudo, procurando evitar distorções do mapeamento.

A distribuição de metal no solo, evidenciada nas figuras e mapas de isovalores nas diferentes profundidades, mostra que os maiores teores do metal foram observados em dois focos principais.

Os modelos numéricos de terreno apontaram, ainda, que nas profundidades inferiores a 1,5m as concentrações do metal tendem a uma diminuição.

Em profundidades inferiores a 1,5m até 2,0m, os teores do metal só chegaram até o nível 3, mostrando que nas profundidades superiores as concentrações foram as mais elevadas.

Foi observado também que, a partir de 3,0m de profundidade, devido ao decréscimo do “n” amostral, o modelo numérico se mostrou inadequado para o mapeamento dos isovalores.

O estudo mostrou que a ferramenta de geoprocessamento pode ser amplamente utilizada em estudos de impacto e gestão ambiental, permitindo que fatos e processos sejam mapeados e modelados de forma a acompanhar uma determinada situação-problema ao longo de um período.

A visualização e a representação de fatos reais por meio de mapas, utilizando imagens e ortofotos, auxiliam os gestores na tomada de decisões mais objetivas e direcionadas.

O programa SPRING se mostrou eficiente e ao mesmo acessível por ser obtido livremente pela internet, fazendo com que este tipo de estudo se torne viável em termos de custo benefício.

6 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT, ao Centro de Tecnologia Mineral – CETEM e ao Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE pelo apoio à elaboração da presente publicação.

7 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATKINSON, P.M. Spatially weighted supervised classification for remote sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 5: 277-291, 2004.
- BLASCHKE T., J. Strobl,. What´s wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. *GeoBIT/GIS: J. Spatial Inform. Decision Making*, 6/2001, pp.12-17, 2002.
- CALIJURI, M. L. Sistemas de Informações Geográficas In: *Desenvolvimento Sustentado: Problemas e Estratégias*, São Paulo: Elisabete Gabriela Castellano Ed, 1997.
- CARNEIRO, P. H. Aplicação do geoprocessamento na localização de empreendimentos carnicultores no maranhão. Disponível em: <http://www.fatorgis.com.br>, 2003.
- CETEM (Centro de Tecnologia Mineral). Relatório Técnico (RT2004-031-00), Rio de Janeiro: CETEM, 2004.
- CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Manual de Gerenciamento de áreas contaminadas – CETESB /GTZ. São Paulo: CETESB, 2001.
- GARCIA, J. M.I. P. ; Xavier-da-Silva, J.; Góes, M.H.de B.; Dias J.E. Avaliação Ambiental por Geoprocessamento para delimitação e classificação de áreas de suscetibilidade a movimentos de massa na região de Itatiaia, Estado do Rio de Janeiro. *Caminhos de Geografia* 19(17) 199 – 209, 2006.
- MORAES, L.A.F.de . Subsídios para o gerenciamento dos recursos naturais da sub-bacia do Rio Paraná, em um trecho entre Porto São José e Jupia. Tese de Doutorado, Departamento de Biologia, Maringá, Paraná: Universidade Estadual de Maringá, 2000.
- PEIXOTO et. al. Modelo de valoração econômica de impactos ambientais em unidades de conservação. VIII Encontro Nacional de Chefes de Unidades de Conservação, Fortaleza. Brasília –DF: IBAMA, p.1-84, 2002.
- RICHARDS, J.A. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction (3rd revised and enlarged edition). Springer-Verlag, Heidelberg, 363 pp, 1999.
- Spring. Manual do Spring. Disponível em: <http://www.inpe.br/spring>

VENTURIERI, A.; Santos, J.R.dos. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: Sistemas de Informações Geográficas: Aplicação na Agricultura, Brasília: Embrapa, 351-371p, 1998.

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2006, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, cerca de 2005 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visitemos em www.cetem.gov.br/series.

ÚLTIMOS NÚMEROS DA SÉRIE GESTÃO E PLANEJAMENTO AMBIENTAL

- SGPA-06 - Avaliação do uso do solo no entorno da UHE de Porto Primavera utilizando o geoprocessamento e sensoriamento remoto Luzia Alice Ferreira de Moraes, Ronaldo Luiz Correa dos Santos, Edvard Elias de Souza Filho e Luis Gonzaga dos Santos Sobral, 2006.
- SGPA-05 - Orientação básica para planejamento de ações preventivas em sistemas de gestão Gustavo Henrique de Souza Araújo, Josimar Ribeiro de Almeida, Bianca Mendes Longo, Laís Alencar de Aguiar e Roberto de Barros Emery Trindade, 2006.
- SGPA-04 - Gestão de resíduos sólidos geradores de drenagem ácida de minas com o uso de coberturas secas Mariluce de Oliveira Ubaldo, Laura de Simone Borma e Maria Claudia Barbosa, 2006.
- SGPA-03 - Controle de documentos e da legislação pertinente às organizações na implantação/operação de SGA Roberto de Barros Emery Trindade, Josimar Ribeiro de Almeida e Gustavo Araujo, 2005.
- SGPA-02 - Seleção de indicadores de estado e avaliação de sensibilidade dos sistemas naturais às ações antrópicas Gustavo Araujo, Laís Alencar de Aguiar, Josimar Ribeiro de Almeida, Paulo Sérgio Moreira Soares e Roberto de Barros Emery Trindade, 2005.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ
Geral: (21) 3867-7222 - Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233
Telefax: (21) 2260-2837
E-mail: biblioteca@cetem.gov.br
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOSSAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.

