

APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO NA IDENTIFICAÇÃO DA EROÇÃO DOS SOLOS NA BACIA DO RIO ARACOIABA - CE

GLEUBA MARIA BORGES DE SOUZA CARVALHO¹
MÁRIO VALÉRIO FILHO²
JOSÉ SIMEÃO DE MEDEIROS²

¹ FUNCEME - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
Caixa Postal D 3221
60325-002.Fortaleza
Ceará - Brasil

² INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515
12201 São José dos Campos, SP, Brasil

ABSTRACT. This work consist in the Universal Soil Loss Equation -USLE application to the identification of the erosion potential in semi-arid areas, using a Geographic Information System and Remote Sensing techniques. The study area, the hydrographic basin of Aracoiaba river, with 591km² approximatly, is located in southwest of Fortaleza in Ceará state. The TM/LANDSAT 5 images were submitted to a digital treatment and were used to define the vegetal cover grade and to determine the C factor, with land use map elaboration. The conservations pratices, P value, were considerate 1(one) because of the hard interpretations of the sattelite images. The USLE data, rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), the slope grade (S), spilling extension (L) were obtained through information of cartographic document, bibliography and numerical data existent. All the informations were introduced in the Geographic Information Sistem SGI/INPE, converted in raster format and finally integrated to obtain the Natural Erosion Potential (PNC). The PNE with C P Usle factors resulted in the information of Relatives Erosion Soils Loss (PR). The results are in Thematic maps in a scale of 1:100.000, showing that the used methodology is adequate to the identification and analysis of the soil erosion process.

1 - INTRODUÇÃO

A erosão do solo brasileiro aumentou, consideravelmente, nas últimas décadas, em função do alto grau de destruição da vegetação natural para dar lugar ao uso da terra através de culturas anuais; das queimadas; das condições inadequadas do preparo do solo; da não utilização, por parte dos agricultores, de práticas de controle à erosão; dentre outras.

Na Região Nordeste do Brasil, [Leprun (1981)], analisando alguns estudos sobre erosão e conservação do solo, existentes, revelou, que as áreas mais expostas aos maiores riscos de erosão, situam-se no embasamento cristalino pré-cambriano, onde os solos são rasos ou pouco profundos, pouco permeáveis, e onde o relevo é convexo-côncavo ondulado, com declividades médias a fortes. Pode notar, ainda, que os sertões dos Estados da Paraíba, Pernambuco e Ceará apresentam a maior porcentagem de zonas em perigo à erosão.

No Estado do Ceará vários são os municípios com riscos de erosão elevados. Dentre eles, destacam-se o de Baturité, o de Guaramiranga, o de Aratuba, o de Mulungu.

Dáí, a motivação de selecionar, para o estudo, a Bacia Hidrográfica do Rio Aracoiaba, que encontra-se inserida, em quase sua totalidade nos municípios acima citados.

Pretendeu-se, como objetivo aplicar técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento em conjunto com a Equação Universal de Perdas de Solo - USLE, na identificação de áreas erosivas em região semi-árida.

A USLE foi desenvolvida nos Estados Unidos da América por Wischmeier & Smith e adaptada por [Bertoni e Lombardi Neto (1985)] para as condições brasileiras, particularmente para o Estado de São Paulo, sendo ainda bastante questionada sua aplicação em regiões semi-áridas.

Na equação, deu-se ênfase as características naturais do meio físico, como a erosividade das chuvas(fator R); erodibilidade dos solos(fator K); a declividade (S) e extensão de vertentes (L) que formam o fator topográfico, resultando no potencial natural de erosão. Na estimativa de perdas de solo por erosão a cobertura vegetal é avaliada através do fator C, que inclui, parcialmente, o tema uso da terra, considerando basicamente a ocupação agrícola das terras. O fator P representa as práticas de conservação do solo.

Este estudo apoiou-se em dados de levantamentos bibliográficos e cartográficos existentes em diversos níveis de informação, que foram atualizados e complementados através de dados do satélite TM LANDSAT-5 e finalizados

em escala 1:100000.

Atualmente as pesquisas geoambientais vem utilizando, com muita frequência, informações do satélite LANDSAT-5, lançado em 1984, onde no qual foi incorporado avanço e melhorias tecnológicas. Porta, além do sensor MSS, o "Thematic Mapper" (TM), com resolução de 30 metros para as bandas do visível e do infravermelho refletido. Tem maior número de faixas espectrais (seis bandas do espectro refletido e uma no termal) que estão localizadas em novas regiões do espectro eletromagnético e com um maior número de níveis de cinza de quantização de dados (256 níveis), levando a uma maior sensibilidade radiométrica. [Epiphanyo, 1988].

2 - CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

2.1 - Conceitos básicos relativos a Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e a Equação Universal de Perdas de Solo.

2.1.1 - Geoprocessamento

Geoprocessamento foi definido por [Rodrigues (1990)] como o conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento, e uso de sistemas que as utilizam.

A área de Geoprocessamento engloba métodos que podem ser abordados, numa estrutura funcional, que os organiza, de acordo com seu emprego na coleta de dados, na geocodificação, no tratamento de dados e no desenvolvimento e uso de sistemas computacionais.

Entende-se como coleta de dados a observação direta ou indireta do mundo real. Provém dos levantamentos ambientais, de relevo, entre outros.

Geocodificação é a técnica de referenciar informações espaciais passíveis de tratamento automatizados.

Tratamento de dados são as operações realizadas nos dados coletados e codificados, que agrupam segundo a manipulação de dados, gerenciamento de dados, modelos digitais de terreno, processamento de imagens, produção de gráficos e mapas por computador.

Os sistemas computacionais podem ser entendidos como conjuntos de programas de computador, onde estão associados arquivos, procedimentos, equipamentos e documentação. Para questões espaciais, existem três classes distintas.

a) Sistemas Aplicativos - como os de mapeamento automático, exemplificados, no nosso caso, como o Sistema de Tratamento de Imagens - SITIM.

O Sistema de Tratamento de Imagens - SITIM é um sistema para processamento e classificação de imagens. (Engespaço). Manipula imagens de satélites meteorológicos, ambientais e de recursos naturais; como também imagens temáticas geradas por classificação de imagens digitais de satélite ou advindas de sistema de

informação geográfica. Devido a isto, imagens do SITIM podem ser utilizadas no SGI e vice-versa, propiciando a sobreposição de imagem de satélite em bases cartográficas ou gerar mapas temáticos a partir de imagens classificadas.

b) Sistemas de Informação - são os difundidos sistemas de informações geográficas desenvolvidos. Exemplificando tem-se o Sistema Geográfico de Informação - SGI/INPE.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) caracterizam-se por serem instalados em computadores, possibilitando a codificação dos dados geográficos e sendo capazes de realizar as seguintes funções básicas: a entrada de dados (mapas, imagens de sensores remoto e dados alfanuméricos); a saída de dados (mapas, imagens e tabelas). Os SIGs foram criados para resolver os problemas de manipulação e apresentação de volumes as quantidades de dados geocodificados, principalmente naqueles casos onde o volume de dados a ser processado seria tão grande que, os métodos manuais seriam insuficientes e demorados ou, onde o conjunto de manipulações a ser executado seria tão complexo que caso fossem levados a cabo através de métodos convencionais apresentaria imperfeições consideráveis.

No SGI/INPE os dados de uma área são agrupados num projeto, em que cada tipo de dados são armazenados em plano de informação (PI) distinto. O sistema manipula dados vetoriais e de varredura, podendo ainda, derivar um dado a partir do outro, como também sobrepor as diferentes informações para chegar a uma informação resultante. Este sistema funciona de forma integrada com o sistema de processamento de imagens - SITIM.

c) Sistemas especialistas - são os que utilizam técnicas de inteligência artificial.

2.1.2 - Sensoriamento Remoto

Sensoriamento Remoto pode ser definido como a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações sobre objetos ou alvo na superfície terrestre, com base na radiação eletromagnética emitida e/ou refletida.

As técnicas de sensoriamento remoto a cada dia ficam mais sofisticadas, ampliando sua aplicabilidade a uma grande gama de problemas ecológicos, tecnológicos, urbanos e de recursos naturais, tornando-se a mais importante técnica de aquisição de informações para o geoprocessamento.

[Amaral (1990)] diz que o sensoriamento remoto envolve a medida do registro de energia no espaço e no tempo. Essas observações podem ser reunidas em três domínios:

- 1) Espacial - tamanho, forma e distribuição;
- 2) Temporal - variações no decorrer do tempo;
- 3) Físico - trocas energéticas por radiação eletromagnética

ou alterações em campos de força.

2.1.3 - Equação Universal de Perdas de Solo (Universal Soil Loss Equation - (USLE).

Esta equação foi desenvolvida por Wischmeier na década de 50 e é o modelo matemático mais usado para avaliar e prever as perdas na superfície do solo pela erosão hídrica, apesar das limitações que este modelo impõe em termos de simplificação dos elementos do meio físico nele inserido.

A USLE pode ser adequadamente utilizada não só em pequenas parcelas, com também em bacias hidrográficas e microbacias. É expressa por:

$$A = R.K.L.S.C.P$$

onde:

A = perda computada;

R = fator erosividade (índice de erosão pela chuva);

K = fator erodibilidade do solo para um dado índice de erosividade;

L = extensão de vertente;

S = declividade;

C = cobertura vegetal e manejo;

P = práticas de suporte como linhas de contorno, terraceamento, dentre outros, relacionadas à perda de solos quando cultivado vertente abaixo. [Pinto,(1991)].

A erosividade (fator R) é o parâmetro que representa a força erosiva da chuva e do escoamento superficial.

Erodibilidade do solo (fator K) é definido como sendo a susceptibilidade de um solo à erosão.

Fator topográfico - formado pela extensão de vertente (L) e declividade (S), é definido como sendo a taxa de perdas de solo por unidade de área em qualquer declive. Cobertura vegetal e manejo (fator C) é definido como sendo a razão entre as perdas de solo de uma parcela cultivada sob condições específicas de manejo. Considera basicamente a ocupação agrícola das terras.

Práticas conservacionistas de solo (fator P) definido como a relação entre a quantidade de solo perdido por uma determinada prática conservacionista e a quantidade de solo perdido sob cultivo vertente abaixo. [Scopel,(1988)].

3 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Rio Aracoiaba juntamente com seus tributários forma o mais importante sub-sistema da margem esquerda da bacia hidrográfica do Rio Choró, um dos pequenos sistemas hidrográficos do nordeste cearense. [Sousa,(1973)].

A bacia hidrográfica do Rio Aracoiaba, situa-se entre os paralelos de 04°14' a 04°26' de latitude sul e os meridianos de 38°40' a 39° 04' de longitude oeste de Greenwich. Dista, cerca de aproximadamente, 70 km a sudoeste de Fortaleza e abrange uma área de 591 km². Circunscreve no todo ou em parte, o território de sete municípios cearenses, como Aratuba, Mulungu, Guaramiranga, Baturité, Capistrano, Aracoiaba e Redenção. (FIGURA 01).

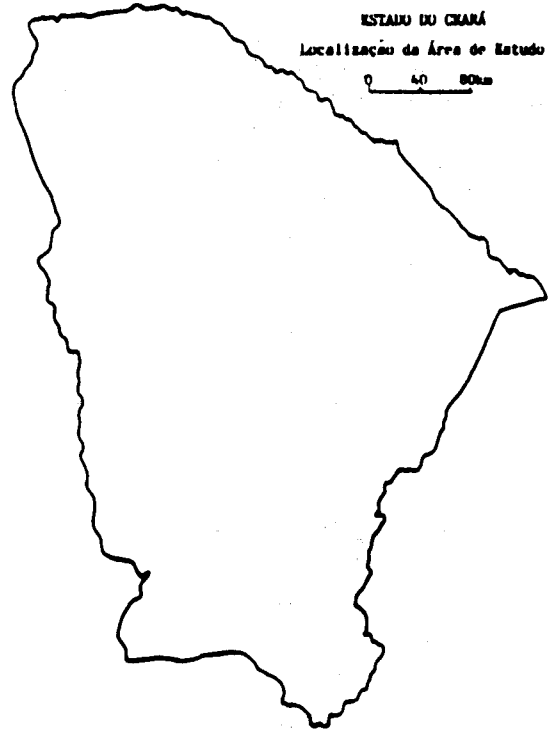


Fig. 01: Localização da área de estudo.

O rio principal tem suas nascentes em altitudes superiores a 1.000m, no Maciço de Baturité, uma região de chuvas bem distribuídas e intensas (1.200mm), além de alimentado por fontes diaclasianas. Desemboca no Rio Choró. O Rio Aracoiaba tem ainda o seu escoamento ligado à construção de pequenos açudes que asseguram sua perenidade, mesmo no período de estiagem. Seus principais tributários pela margem esquerda são os Riachos do Susto e Candéia e pela margem direita o Rio Putiú e o Riacho Nilo. Forma uma drenagem do tipo dendrítica.

A área de abrangência da bacia está inserida no Complexo Nordestino, posicionado no Pré-Cambriano Inferior e Médio. Há uma grande predominância de gnaisse, migmatitos, calcários cristalinos e rochas calcossilicatadas. Esta variação vincula-se ao metamorfismo regional. Os sedimentos quaternários se compõem de depósitos aluviais, nos vales estreitos. Litologicamente, esses sedimentos são areno-argilosos. [CETREDE,(1977)].

[Sousa (1973)], constatou três feições geomorfológicas.

A primeira, formada pela Vertente Oriental do Maciço de Baturité, com níveis altimétricos superiores a 400m, atingindo em algumas partes, cota altimétrica acima de 1.100m, e tem orientação NE-SW. Trata-se de um maciço residual derivado da ação seletiva da erosão diferencial. Seu relevo apresenta-se bastante dissecado, com predomínio de vertentes convexas. Em suas cimeiras nascem o Rio Putiú e o Riacho Nilo que confluem com o

Rio Aracoiaba. Os pequenos vales serranos tem forma em "V", propiciado pela dissecação marcante do modelado, onde os efeitos da erosão linear são mais incisivos.

A segunda feição geomorfológica é a Superfície de Aplainamento Sertanejo ou Superfície Pediplanada resultante de um sistema erosivo intenso. Desenvolve-se desde a base do maciço residual, com cotas altimétricas inferiores a 250m. Inserida na sua totalidade no Pré-Cambriano Indiviso, sua morfogênese fica condicionada por menores índices pluviométricos e é revestida por caatinga, adquirindo feições típicas do pediplano sertanejo com relevo quase sempre suave ondulado, e raramente ondulado, aparecendo elevações isoladas conhecidas por "inselbergs".

A terceira feição, trata-se da Planície Aluvial composta de terreno baixo e plano, de sedimentos recentes que bordejam as margens do rio principal. A planície do Rio Aracoiaba só chega a ter maior expressão já a poucos quilômetros de sua foz no Rio Choró.

O clima é o principal condicionante do escoamento fluvial. As chuvas, na área são bastante variáveis. Observa-se médias anuais superiores a 1.200mm no Maciço de Baturité, enquanto que na superfície pediplanada, elas não ultrapassam a 800mm. Concentram-se no período de verão-outono, em particular nos meses de março, abril, maio, reguladas pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

Tomando como apoio a classificação de Koeppen, dois tipos de clima ocorrem na área. O primeiro do tipo AW' - quente e úmido com chuvas de verão e precipitações máximas no outono. Ocorre nas partes mais elevadas da bacia ou mais precisamente no Maciço de Baturité. A precipitação pluviométrica anual é superior a 1.200mm e a temperatura varia em torno de 20 a 22 °C.

O segundo tipo é o BSw'h' - quente e semi-árido caracterizado por precipitações insuficientes e irregulares. Ocorre na Superfície Pediplanada, com precipitação pluviométrica em torno de 800mm e a temperatura variando em torno de 27 °C.

De acordo com [SUDEC (1979)], na bacia ocorrem as seguintes classes de solos:

PE - PODZÓLICO VERMELHO AMARELO EUTRÓFICO. Compreende solos com horizonte B textural, não hidromórficos, com distinta ou acentuada diferenciação de horizontes, perfis normalmente profundos, podendo ocorrer com menor frequência os moderadamente profundos ou rasos. Podem apresentar caráter abrupto e às vezes caráter plúntico, e serem latossólicos, quando intermediários para latossolo.

Variam de bem a fortemente drenados em certos casos, e de moderadamente a imperfeitamente drenados, em outros. Média a alta saturação de base, baixa capacidade de troca de cátions e contém uma quantidade significativa de minerais primários facilmente decomponíveis, tomando um solo de média a alta fertilidade natural.

Tem boa potencialidade para a agricultura, sendo as

limitações mais comuns o relevo com declividades acentuadas e pedregosidade superficial. São susceptíveis à erosão, requerendo para seu uso, tratos conservacionistas intensivos.

NC - BRUNO NÃO CÁLCICO. São solos com horizonte B textural, não hidromórficos, com argila de atividade alta, elevada saturação de bases, elevados teores de minerais facilmente intemperizáveis e alta fertilidade natural. São moderadamente profundos a rasos, tendo mudança textural abrupta do horizonte A para o B, apresentando descontinuidade entre os horizontes superficiais e subsuperficiais.

São usados com culturas de algodão e de subsistência. Dentre as limitações mais sérias ao uso, destaca-se à deficiência hídrica. São susceptíveis à erosão, podendo ser explorado com práticas intensivas de conservação.

PL - PLANOSSOLO SOLÓDICO. São solos moderadamente profundos a raso, apresentando horizonte B textural argila de atividade alta, mostrando nos horizontes superficiais mosqueados resultantes de excesso de umidade no período chuvoso e na época seca ficam ressecados e apresentam fendilhamento. Alta saturação de bases, soma de bases entre média e alta, reação moderadamente ácida e fortemente ácida e saturação com sódio entre 6 a 15%.

São susceptíveis à erosão em razão da mudança textural abrupta entre o horizonte A e B, necessitando portanto de práticas conservacionistas.

Ae - SOLOS ALUVIAIS. São solos poucos desenvolvidos, oriundos de sedimentos aluviais não consolidados, depositados nas várzeas sob as mais variadas condições de clima e vegetação. São de moderadamente a muito profundos, apresentando diversos tipos de textura, de reação ácida a moderadamente alcalina, drenagem imperfeita ou moderada, valores de soma de base e capacidade de troca variáveis. Apresentam apenas um horizonte A superficial.

São de grande potencialidade agrícola, mas apresentam algumas limitações, tais como riscos a inundação, problemas de salinização e encharcamento.

Identifica-se cinco tipologias florestais na área. [Figueiredo,(1986)].

Floresta Tropical Plúvio Nebular Perenifólia. Encontrada em altitudes superiores a 900m ou em cotas altimétricas pouco menores, no Maciço de Baturité, em pequenas manchas. Se desenvolve nas áreas mais úmidas e apresenta indivíduos de 15 a 20m de altura. Sua cobertura protetora, atenua os efeitos da erosão. As essências encontradas com maior frequência são o Jatobá, Pau d'arco, Pau Ferro, Maçaranduba.

Floresta Tropical Plúvio Nebular Sub-perenifólia. Situada em altitudes menores, na faixa de 600 a 800m, mas precisamente na vertente oriental do Maciço de Baturité, sendo beneficiada com as chuvas orográficas. Aparece espécies decíduas, com porte mais reduzido. Destaca-se o

Pau d'arco, Trapiá, Mororó, Chumbinho.

Floresta Sub-caducifolia. Encontrada a partir da faixa altimétrica dos 400 a 600m, na vertente oriental do maciço onde a umidade é mais baixa. Os indivíduos que a integram apresentam-se com altura em torno de 10m, em sua totalidade caducifolias. Sofrem uma relativa carência d'água. Aparece em grande quantidade, integrando-se às espécies vegetais, o Babaçu. Além desta palmeira encontramos o Pau d'arco, Angico, Catanduva, Aroeira dentre outras.

Caatinga Arbórea e Arbustiva. Esta vegetação caracteriza-se muito bem sob o ponto de vista fisionômico, fisiológico e ecológico, pela forte xeromorfia de algumas espécies que a compõem, como também pela perda de folhas na época seca. Situam-se nos pés de serras e na superfície pediplanada, variando pois em densidade e porte, chegam a atingir 14-15m em função dos elementos do meio responsáveis pelo bioclima. Dentre as essências encontra-se a Catingueira, Jurubeba, Juazeiro, Xique-xique dentre outras.

Mata Ciliar de Carnaúba. Encontra-se nas várzeas onde o lençol freático é pouco profundo. A Carnaúba, em geral cresce em extensos bosques ao longo dos rios. Apresentam alturas variando de 15 a 25m.

De acordo com as categorias de imóveis rurais, na área encontra-se a tipologia fundiária binária aparecendo de um lado os minifúndios e do outro os latifúndios.

As grandes secas foram determinantes na migração, principalmente da região do sertão para a região de serra.

No século XIX foi introduzido o plantio do café na serra de Baturité. Hoje o uso do solo dá-se com agricultura (café, cana de açúcar, feijão, milho, mandioca), pecuária, agropecuária, fruticultura e horticultura e extração vegetal.

A agricultura nômade praticada levando à abertura de novas áreas, a procura de solos melhores propicia o desmatamento tão expressivo na região, contribuindo decisivamente para a aceleração dos processos erosivos.

4 - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 - MATERIAL

4.1.1 - Dados TM/LANDSAT

Para melhor identificar as coberturas vegetais e do solo, usou-se dados obtidos a partir do satélite LANDSAT-5 com o sensor TM (Thematic Mapper), pois fornece melhores resoluções espectral, espacial, radiométrica e temporal.

Utilizou-se dados registrados pelo sensor TM/LANDSAT-5 em fitas compatíveis com computador (CCTs), referentes à órbita 217.63.B (WRS), da passagem de 21/08/85, nas bandas 3,4 e 5 as quais abrangem a radiação da porção do visível e infravermelho refletido do espectro eletromagnético.

4.1.2 - Documentação Cartográfica

Para a formação da base de dados, utilizou-se os seguintes documentos cartográficos existentes na área de estudo.

- Cartas Planialtimétricas na escala 1:100.000, produzidas pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE em convênio com a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército - DSG, folhas Baturité - SB-24-X-A-I e Canindé - SB-24-V-B-III, editadas em 1984.

- Mapas Hidrográficos referente ao Monitoramento dos Espelhos d'água dos Açudes no Estado do Ceará, na escala 1:100.000, produzidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME, editados em 1988.

- Mapas Pedológicos referente ao Levantamento a Nível de Reconhecimento Semidetalhado dos Solos de parte da Região de Baturité, na escala 1:50.000, executados pela Superintendência do Desenvolvimento do Estado do Ceará -SUDEC, editados em 1979.

4.1.3 - Outras informações

- Relatórios de dados analíticos de perfis de solos. [SUDEC,(1979)].

- Registros pluviométricos. [FUNCEME,(1991)].

4.1.4 - Programas aplicativos e Equipamentos

Foram dois os programas utilizados:

-Sistema de Tratamento de Imagens - SITIM

-Sistema Geográfico de Informação - SGI

Os sistemas SITIM e SGI em operação, ficam disponíveis em ambiente DOS, composto pelos seguintes dispositivos básicos:

- Microcomputador PC 386 e 486

- Mesa digitalizadora A1

- Traçador gráfico eletrostático

- Placa gráfica SITIM - 340

- Monitor de imagens padrão SVGA

4.2 MÉTODOS

Procedeu-se, inicialmente, ao levantamento e triagem dos documentos cartográficos, bibliográficos e das imagens de satélite disponíveis sobre a área de estudo.

Utilizou-se imagens multispectrais TM/LANDSAT 5, no produto de formato de fitas CCT (compatíveis com o computador), para posteriores processamentos em ambiente computacional SSR e SGI, onde procedeu-se a seleção de bandas, que contribuíram de forma mais favorável, à discriminar variações sutis da cobertura vegetal e dos solos.

Após a seleção das bandas, localizou-se a área de estudo na imagem e aplicou-se a técnica de imagem - mapa, a fim de ajustar a imagem à documentação cartográfica de base - carta planialtimétrica em escala 1: 100000.

Identificou-se os pontos de controle na imagem e os pontos homólogos na carta.

Passou-se, então a trabalhar na imagem digital no SITIM, que foi submetida banda a banda, a realçamento por ampliação linear de contraste, que consiste em expandir a amplitude dos níveis de cinza da imagem original, onde os limites inferior e superior do histograma de distribuição de níveis de cinza são modificados, alterando portanto, a imagem original em termos de ganho.

Em seguida, foi feito um realçamento de cores em composições multiespectrais coloridas, onde as imagens foram apresentadas no vídeo em três bandas, 5,4 e 3, associadas a três cores primárias, vermelho, verde e azul, respectivamente.

Foi, então, realizada a interpretação da imagem com o objetivo de identificar o uso atual e ocupação das terras, atualizar os recursos hídricos superficiais e os centros urbanos.

A partir da base de dados disponíveis, deu-se início, no SGI a preparação dos planos de informação (PIs).

Apoiada na carta planialtimétrica, em escala 1:100000, digitalizou-se os planos de informações drenagem, rede viária e centros urbanos, divisão administrativa e altimetria.

Resultante de trabalhos existentes, em escalas diversas, e, que após unificação em escala 1:100000, através de métodos de transferência de escala, executou-se a digitalização dos seguintes PIs: geomorfologia, vegetação e pedologia.

Criado a partir de imagens de satélite foi elaborado o PI uso e ocupação da terra.

Com exceção do PI de altimetria, que pertence a categoria de modelo numérico de terreno (MNT), os demais PIs pertencem a categoria de polígonos, onde após a digitalização dos polígonos abertos, ilhas e arcos foram realizadas as etapas de ajuste de linhas, inserção de centróides e poligonalização dos PIs de geomorfologia, vegetação, pedologia e divisão administrativa. Após esta etapa, houve a conversão do formato vetorial para "raster."

O PI de altimetria é um plano onde há entrada de cotas de altitude para todas as linhas e de pontos digitalizados. Ao terminar a digitalização, este PI foi dividido em dois, onde organizou-se as amostras digitalizadas e gerou-se uma grade regular para os dois módulos.

Em um segundo momento, foram levantados os dados de parâmetros da USLE, que se deu da seguinte forma: Para a erosividade das chuvas foi utilizada a fórmula

$$E1 = 6,886 (p2/P)^{0,85}$$

onde: E1 = índice anual de erosão

p = precipitação média mensal em mm

P = precipitação média anual em mm

desenvolvida por [Lombardi Neto e Moldenhauer (1980)].

Após a identificação dos tipos de solos gerados no

mapa pedológico, adaptou-se os dados de erodibilidade, apoiados na tabela de valores elaborada por Bertoni e Lombardi Neto do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, para várias unidades de dois agrupamentos de solos do Estado de São Paulo. De posse destes dados elaborou-se o PI erodibilidade, na categoria de polígonos.

Os comprimentos de rampa foram medidos na carta planialtimétrica em escala 1:100000, manualmente com régua graduada, medindo a distância segundo o maior declive da encosta por onde escoam as águas até atingir o ponto de medição. Em função dos diferentes tipos de relevo, optou-se em utilizar as unidades geomorfológicas. Obteve-se uma média aritmética para cada compartimentação e a criação deste PI deu-se a partir do PI de geomorfologia.

A declividade foi gerada a partir do PI de altimetria através da função "gerar declividade" e sobre este foi aplicada a função "fatiar MNT". No fatiamento entrou-se com as informações em graus correspondendo aos intervalos em porcentagem. A fórmula para transformação é: $G = (F) \cdot \arctan(p/100)$ onde:

G é o valor de declividade em graus;

p é o valor de declividade em %;

$\arctan(x)$ fornece o arcotangente de x em radianos e

F é o fator de conversão de radianos para graus.

O fator topográfico é composto da extensão da vertente e da declividade. Para se chegar ao LS usou-se equação $LS = 0,00984 \cdot L^{0,63}$

proposta por [Bertoni e Lombardi Neto (1985)].

Fator cobertura vegetal foi baseado no mapa de uso e ocupação da terra, onde para cada classe de uso foi associado os valores sugeridos por [Bertoni e Lombardi Neto (1985)].

Dentro do nível de generalização deste trabalho as práticas conservacionistas foram consideradas somente como sendo as de cultivo morro abaixo.

Para aplicar a USLE ajustada as condições brasileiras, teve-se que realizar conversões de formatos de PIs e erodibilidade, extensão de vertente, declividade, uso e ocupação da terra para possibilitar a execução de cálculos matemáticos com os mesmos.

Para tanto, foram executadas as seguintes operações: transformação do arquivo "raster" em arquivos ASCII, utilizando a função "saída de imagens" do SGI; conversão de valores do tipo "interger" para o tipo "float" destes arquivos; conversão dos arquivos ASCII tipo "float" para arquivos grades através da função de leitura de arquivos ASCII para entrada de MNT do SGI.

Inicialmente, chegou-se ao Potencial Natural de Erosão (PNE) dado pela equação empírica ajustada conforme [Bertoni e Lombardi Neto (1985)]

$$PNE = R.K.L.S$$

e, posteriormente as Perdas Relativas de Erosão do Solo (A) = R.K.L.S.C.P de Wischmeier, aplicando a operação de

manipulação, a operação de grades e finalmente o fatiamento.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados digitais do sensor TM/LANDSAT 5, nas bandas TM3, TM4, TM5, realçadas, foram submetidas ao procedimento de registro de imagens, onde dos 28 (vinte e oito) pontos de controle escolhidos, após o uso do polinômio de grau 1 no cálculo de mapeamento, selecionou-se 18 (dezoito) pontos, onde o erro total interno foi inferior a 0,5 pixel.

Após o georeferenciamento da imagem com a base cartográfica, considerado satisfatório, a imagem realçada possibilitou a identificação de 4 (quatro) categorias de uso da terra/cobertura vegetal: área urbana, uso agrícola, mata e capoeira. Deste mapa foram obtidos valores referentes ao fator C da USLE, assim determinados no QUADRO 01.

Uso da Terra	Valores do Fator C
Área urbana	0,01200
Uso agrícola	0,21000
Mata	0,00004
Capoeira	0,00070

QUADRO 01 - Categorias de uso da terra e valores correspondentes ao fator C.

Os dados referentes aos fatores da USLE que representam elementos do meio físico foram levantados e integrados para a determinação do Potencial Natural de Erosão - PNE.

Adotou-se para o fator erosividade da chuva (fator R), um valor único, aproximado de 525 Tmm/ha.a, informado pelo Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, que considerou como mais adequado, já que quase não existe registro de observações meteorológicas na área de um período mais longo.

O fator erodibilidade do solo (fator K), foi obtido do mapeamento pedológico da área, onde identificou-se cinco diferentes valores de erodibilidade de acordo com a tabela de [Bertoni e Lombardi Neto (1985)], que diz a relação de erosão dos horizontes superficiais e subsuperficiais para várias unidades de dois agrupamentos de solos do Estado de São Paulo. No QUADRO 02 mostramos a adaptação feita para solos do semi-árido.

Índices de Erodibilidade	Unidades de Solo do Levantamento Semidetalhado da Região do Baturité - SUDEC
--------------------------	--

0,001	Solos Aluviais Eutróficos A moderado e fraco textura arenosa e argilosa fase
-------	--

floresta caducifólia de várzea e/ou ciliar de carnaúba, relevo plano.

0,028	Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A moderado textura média/argilosa fase floresta subcaducifólia ou caatinga relevo montanhoso. Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A moderado textura média/argilosa fase caatinga relevo suave ondulado a ondulado.
-------	---

0,030	Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A moderado textura média/argilosa fase floresta subperenifólia relevo forte ondulado e montanhoso.
-------	---

0,036	Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico A Fraco textura arenosa/argilosa fase caatinga relevo plano e suave ondulado.
-------	--

Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico latossólico A fraco e moderado textura argilosa fase caatinga relevo plano e suave ondulado.

Bruno Não Cálculo A fraco e moderado textura arenosa ou média/argilosa fase pedregosa ou não caatinga relevo plano a suave ondulado.

Planossolo Solódico A fraco textura arenosa/argilosa fase caatinga relevo plano e suave ondulado.

0,043	Podzólico Vermelho Amarelo Eutrófico moderado textura média/argilosa fase floresta subcaducifólia relevo montanhoso.
-------	--

QUADRO 02 - Índice de erodibilidade dos solos da Bacia do Rio Aracoiaba.

Adaptada de [Bertoni e Lombardi Neto (1985)].

Observa-se no QUADRO 02 , que existe uma relação entre os valores de erodibilidade e as características texturais das unidades pedológicas. Solos de textura arenosa e media apresentam valores de erodibilidade superiores aos solos de textura argilosa, sendo, portanto, mais susceptíveis a erosão.

O fator topográfico (LS) que inclui a extensão das

vertentes (L) e declividade (S), é um dos mais importantes da equação por representar a variável relevo.

Os dados foram gerados separadamente e os resultados obtidos são apresentados segundo a compartimentação geomorfológica e dentro destas por sistemas de relevo.

Os valores de extensão das vertentes, obtidos da carta topográfica em escala 1:100000, com equidistância de 40 metros foram cruzados com o mapa geomorfológico resultando no seguinte: Planície Aluvial = 800m; Superfícies de Aplainamento Sertanejo = 1015m; Vertente Oriental do Maciço de Baturité = 1036m e Superfície de Cimeira Pediplanada = 694m.

As classes de declividade adotadas obedecem as normas estabelecidas pelo Manual para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso [Lepsch et al., (1983)]. Foram utilizados os valores pertencentes aos limites elásticos para as classes, como proposto para estudos onde se contempla erosividade e erodibilidade. Levou-se em conta o mapa de altimetria gerado no SGI, em grade com resolução vertical e horizontal de 40 metros. Estabeleceu-se: classe A - 0 a 3%; classe B - 3 a 6%; classe C - 6 a 12%; classe D - 12 a 20%; classe E - 20 a 40% e classe F - > 40%.

Os fatores R, K e LS foram integrados e georeferenciados no SGI/INPE, através da grade e formatados em matrizes de dimensão 103 linhas x 187 colunas, com resolução de 250 metros. Como resultante obteve-se uma matriz de valores, o Potencial Natural de Erosão (PNE). Os valores alcançados correspondem as perdas de solo em áreas continuamente destituídas de cobertura vegetal, e os resultados apresentados no QUADRO 03, foram analisados apenas de modo qualitativo.

Classes	Valores PNE	Categorização Qualitativa
1	0 - 300	Baixo
2	301 - 600	Moderada
3	601 - 900	Alto
4	> - 900	Muito Alto

QUADRO 03 - Classes de Valores de Potencial Natural de Erosão.

Ao analisar o QUADRO 03 e a FIGURA 02, observou-se que há interrelações entre relevo, solos e os níveis do PNE. Os seus valores máximos e mínimos são sempre originados por valores, respectivamente, altos e baixos de erodibilidade e fator topográfico.

Os vários níveis do Potencial Natural de Erosão são consequência, principalmente, do relevo, onde nos declives mais acentuados, os níveis do PNE são mais elevados.

Concluído o PNE, esta informação foi relacionada com a do uso da terra, convertida em matriz de valores do fator C, da USLE, gerando uma outra, denominada de Perdas Relativas por Erosão.

Para concluir o modelo da USLE, adicionou-se, também o fator práticas conservacionistas, fator P, adotando-se o valor 1, obtendo-se, portanto, as classes expressas no QUADRO 04 e apresentadas na FIGURA 03.

Classes	Valores de A	Categorização Qualitativa
1	0 - 50	Baixo
2	50 - 100	Médio
3	100 - 150	Alto
4	> 150	Muito Alto

QUADRO 04 - Classes de Perdas Relativas por Erosão.

Após todo o procedimento de integração de dados no Sistema Geográfico de Informação - SGI/INPE pode-se verificar que na Bacia Hidrográfica do Rio Aracoiaba, principalmente na feição geomorfológica da Vertente Oriental do Maciço de Baturité, constitui a área mais susceptível aos processos de erosão, em consequência, dentre outras, da ocupação contínua de culturas anuais.

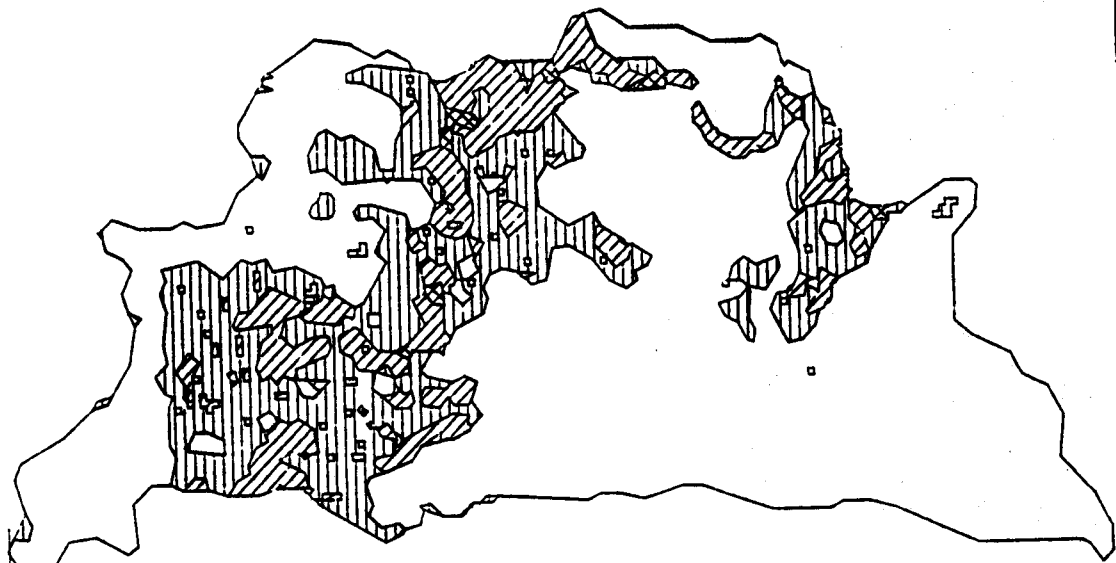
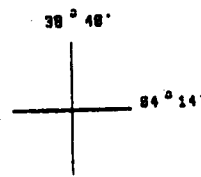
6 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados, analisados e interpretados permitiram chegar às seguintes conclusões:

- As imagens do Satélite TM/LANDSAT - 5, devido a sua boa resolução espectral e espacial forneceram informações a um nível de detalhe suficiente para a realização de mapeamento de uso e ocupação da terra na escala adotada no trabalho. Entretanto, na área de estudo revelou-se complexa, principalmente em termos da presença de policultura e do relevo montanhoso, que interferiram no mapeamento.
- O uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento muito se adequaram à execução deste tipo de trabalho, em função do grande número de dados e da dimensão da área. O Sistema de Informação Geográfica SGI/INPE viabilizou a manipulação dos fatores R,K,L,S,C de forma rápida e eficiente, demonstrando o quanto é viável a identificação da erosão de solos de uma área, utilizando-se uma base de dados georeferenciados.
- Para melhor caracterizar a erosão do solo, além dos dados do sensoriamento remoto, principalmente os oriundos de imagens de satélite há necessidade do apoio de levantamento e detalhamento de campo.
- Recomenda-se a intensificação dos estudos dos fatores que estabelecem a USLE, principalmente ao tocante

BACIA HIDROGRAFICA DO RIO ARACOIABA-CE
POTENCIAL NATURAL DE EROSAO

0 3 6 km



LEGENDA





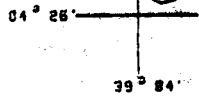
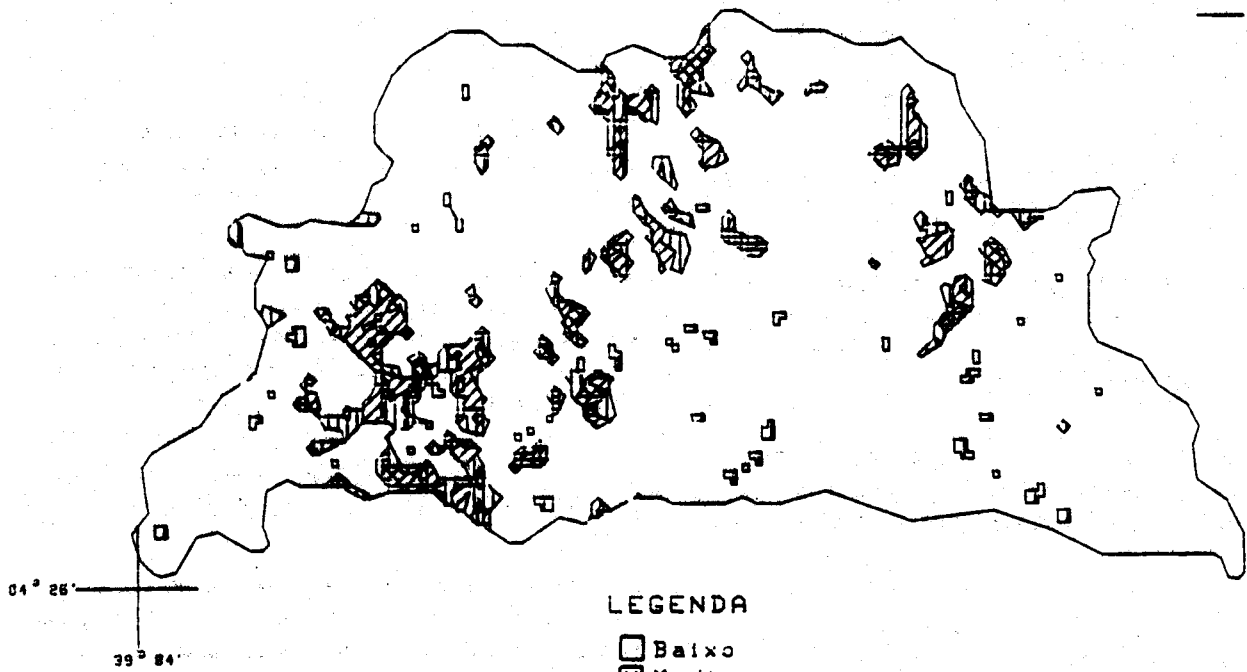
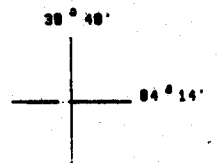
-  Baixo
-  Moderado
-  Alto
-  Muito Alto

FIGURA - 2

BACIA HIDROGRAFICA DO RIO ARACOIABA-CE
PERDAS RELATIVAS POR EROSAO

0 3 6 km



LEGENDA





-  Baixo
-  Medio
-  Alto
-  Muito Alto

FIGURA - 3

erosividade e erodibilidade, na região do Semi-Árido, tornando-se possível, desta forma a utilização da Equação Universal de Perdas de Solo - USLE nos levantamentos de erosão do solo, em diversos níveis de generalização.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertoni, J; Lombardi Neto, F. *Conservação do Solo*. Piracicaba, Livroceres, 1985, 392p.
- Ceará - Superintendência Estadual do Meio Ambiente. *Zoneamento ambiental da APA da Serra de Baturité. Diagnóstico e Diretrizes*. Fortaleza, SEMACE, 1991.
- Epiphânio, J.C.N. *Dados TMILANDSAT-5 no estudo das culturas de trigo e de feijão*. Tese de Doutorado, Piracicaba, ESALQ/USP, 1988.
- Figueiredo, M.A. *Vegetação*. In: Atlas do Ceará. Fortaleza, Superintendência do Desenvolvimento do Estado do Ceará - SUDEC, 1986.
- Formaggio, A.R. *Características agrônomicas e específicas para sensoriamento remoto de trigo e de feijão*. Tese de Doutorado, Piracicaba, ESALQ/USP, 1989.
- Instituto de Pesquisa Tecnológica do Estado de São Paulo (IPT). *Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe-Parapanema*. São Paulo, 1986.
- Leprun, J.C. *Manejo e conservação de solos do Nordeste*. Recife. SUDENE/ORSTOM, 1983.
- Lepsch, L.F; Bellinazzi JR, R.; Bertolini, D. & Espíndola, C.R. *Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso*. Campinas, SBCS, 1983.
- Lombardi Neto, F; Moldenhauer, W.C. *Erosividade da chuva - sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas*. SP. IN: Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação de Solo. Recife, 1980.
- Novo, E.M.L.M. *Sensoriamento Remoto - princípios e aplicações*. Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1989, 308 p.
- Pinto, S.A.F. *Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização de erosão do solo no SW do Estado de São Paulo*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, 1983.
- Pinto, S.A.F.; Valério Filho, M. & Garcia, G. J. *Utilização de imagens TMILANDSAT na análise comparativa entre dados de uso da terra e de aptidão agrícola*. São José dos Campos, INPE, 1988.
- Pinto, S.A.F. *Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica*. Tese de Doutorado. São José dos Campos, INPE, 1991.
- Ramalho, M.L. & Soares, A. M. L. *Levantamento e mapeamento do grau de conservação versus degradação ambiental da Serra de Baturité Ce. através de sensoriamento remoto*. Fortaleza, FUNCEME, 1991.
- Rodrigues, M. *Introdução ao Geoprocessamento*. In: Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. São Paulo, 1990.
- Scopel, I. *Avaliação da erosão com auxílio de técnicas de sensoriamento remoto e da equação universal de perdas de solo a nordeste de Cornélio Procópio (PR)*. Tese de Doutorado. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1988.
- Sousa, M.J.N. *Geomorfologia do Vale do Choró - CE*. Dissertação de Mestrado. São Paulo. USP, 1973.
- Sudec - Superintendência do Desenvolvimento do Estado do Ceará. *Levantamento de reconhecimento semidetalhado dos solos de parte da Região de Baturité*. Fortaleza, 1979.
- Valério Filho, M; Pinto, S. A. F. *Resultados preliminares da utilização de imagens TMILANDSAT na identificação de áreas submetidas a processos de erosão*. São José dos Campos, INPE, 1987.
- Valério Filho, M; Donzeli, P. L. & Pinto, S. A. F. *Técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica aplicadas ao plano de manejo de microbacias hidrográficas*. São José dos Campos. INPE, 1992.