

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA



Fabíola Cech de Oliveira

Técnica para o Estabelecimento de Plataforma Genética
Utilizando Geoprocessamento

Trabalho de Graduação
2005

Infra-Estrutura

Fabíola Cech de Oliveira

**TÉCNICA PARA O ESTABELECIMENTO DE PLATAFORMA
GENÉTICA UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO**

Orientadores

Prof. Dr. Eugênio Vertamatti (ITA)

Co-orientadores

Prof. Fabiano Morelli (INPE)

Divisão de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

2005

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**Divisão Biblioteca Central do ITA/CTA**

<p>Oliveira, Fabíola Cech Técnica para o Estabelecimento de Plataforma Genética Utilizando Geoprocessamento / Fabíola Cech de Oliveira São José dos Campos, 2005. Número de folhas no formato 77f</p> <p>Trabalho de Graduação – Divisão de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2005. Orientadores: Prof. Dr. Tit. Eugênio Vertamatti</p> <p>1. Mapeamento do solo. 2. Sistema de informação geográfica - GIS 3. Análise dos solos. Centro Técnico Aeroespacial. Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica. III.Título</p>

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OLIVEIRA, Fabíola Cech; **Técnica para o Estabelecimento de Plataforma Genética Utilizando Geoprocessamento**. 2005. 77f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Fabíola Cech de Oliveira

TÍTULO DO TRABALHO: Técnica para o Estabelecimento de Plataforma Genética Utilizando Geoprocessamento

TIPO DO TRABALHO/ANO: Graduação / 2005

É concedida ao Instituto Tecnológico de Aeronáutica permissão para reproduzir cópias deste trabalho de graduação e para emprestar ou vender cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de graduação pode ser reproduzida sem a autorização do autor.

Fabíola Cech de Oliveira

R. Eng. Hugo Vocurca, 66, Barbosa Lage
Juiz de Fora, MG

Técnica para estabelecimento de Plataforma Genética utilizando Geoprocessamento

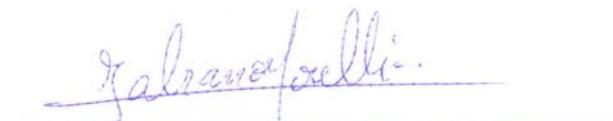
Essa publicação foi aceita como Relatório Final de Trabalho de Graduação



Fabíola Cech de Oliveira
Autora



Prof. Dr. Eugênio Vertamatti (ITA)
Orientador



Prof. Fabiano Morelli (INPE)
Co-orientador



Prof. Dr. Flávio Mendes Neto
Coordenador do curso de Infra-Estrutura Aeronáutica

São José dos Campos, 25 de Novembro de 2005

Dedico esse trabalho à minha mãe,
que esteve sempre presente em minha vida,
com uma dedicação e sacrifício incondicionais.

A luta não foi só minha, mãe.
Você, mais do que eu, é uma vencedora.

Agradecimentos

Agradeço a realização desse Trabalho primeiramente a Deus, pois sei que sem Sua presença em minha vida, nada seria. Agradeço ao Demerval Gonçalves, o querido e prestativo Demer, por sua ajuda inestimável durante as horas intermináveis no Laboratório de Geomática. Ao Prof. Fabiano, por sua contribuição, ensinamentos e paciência. Sei que essas duas pessoas foram fundamentais para a conclusão desse TG. Vou agradecer o resto da minha vida por tamanho carinho. Ao Prof. Vertamatti, por ter sido extremamente compreensivo e tranquilo, por ter acreditado em mim, e ter me confiado tamanha responsabilidade. Agradeço a Sidney Gonzalez, do IBGE, pela sua extrema disposição e empenho em me ajudar. Por ter sido tão prestativo, e ter me disponibilizado os mapas digitalizados. Se não fosse ele estaria clicando o mouse até hoje. São tantas as pessoas que de uma forma ou de outra me ajudaram nesse TG...

Por fim, agradeço a todos os meus colegas de turma, companheiros e amigos de caminhada. Nossa turma foi inesquecível, cada um de vocês tem um lugar guardado em meu peito. Não poderia deixar de dar um agradecimento especial a Zé Ricardo e Maymone que com certeza me ajudaram a conseguir meu diploma. Ao Rafael, que, além de ter sido companheiro durante todos esses os anos de ITA, me ajudou muito na finalização desse TG.

Obrigado a todos.

Não existe milagre: existe trabalho e progresso.

Felicidade é consequência”.

Resumo

A análise concomitante dos mapas geológico, pedológico e geomorfológico é capaz de gerar uma visão macro da formação geológica de uma região. Na disciplina de graduação do curso de Infra-Estrutura do ITA, GEO 31 – Geologia de Engenharia, ministrada pelo professor Eugênio Vertamatti, os alunos são desafiados a confrontar esses três mapas analisando as diversas informações neles contidas, interpretando a Plataforma Genética da região, a fim de apontar localidades propícias à implantação de um aeroporto.

Sob essa motivação, o presente trabalho objetivou estudar e estabelecer os procedimentos necessários para essa tomada de decisão utilizando o Geoprocessamento como ferramenta, a fim de aprimorar o estudo da Plataforma Genética, visto que essa atividade é desempenhada, ainda hoje, por meio de técnicas tradicionais.

Para isso, além de ter-se buscado a melhor fonte de dados visando à qualidade final e otimização na manipulação, inseriu-se esses dados num SIG (Sistema de Informação Geográfica), cuja operação é ensinada neste mesmo curso de graduação, na disciplina de GEO 43 – Geoprocessamento. Trabalharam-se, também, todas as etapas de Geoprocessamento necessárias, desde o georreferenciamento, vetorização, até a álgebra de mapas, produzindo assim, diversos resultados que validam essa técnica.

Abstract

The concomitant analysis of the maps related to Geology, Geomorphology, and Soils can provide a macro outlook of the geological formation of a land. In the matter of Geological Engineering, instructed during the Aeronautical Infra-Structure Engineering course, in ITA, students are challenged to evaluate information inherent in these three maps, by the interpretation of the Genetic Platform with the purpose to identify appropriated areas for airfield implantation.

By this motivation, this study intend to study and establish the necessary procedures for this decision, using the technique of Geoprocessing, trying to upgrade the Genetic Platform study, as this activity is made by the use of traditional technique, until now.

Besides of looking for the best data resource with the objective of activate good quality in final process and optimization during the manipulation of data, the data importation to a SIG (Geographic Information System) was made. Every necessary steps of Geoprocessing was done, since Georeference until Map Algebra, so producing several results that acknowledge this technique.

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. DESCRIÇÃO TEÓRICA	4
2.1 – Geologia de Engenharia	4
2.2 – Análise Geotécnica	5
2.3 – Particularização do problema	6
2.4 – Caracterização da região.....	8
3. SIG (SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA)	18
3.1 - Considerações Gerais	18
3.2 – SIG.....	18
3.3 – Histórico do SIG.....	20
3.4 – Tipos de Dados em Geoprocessamento.....	21
3.5 - Universo da Representação	24
3.6 – Funcionalidades de um SIG.....	28
3.7 – Captura de Dados	29
3.8 – Manipulação e Análise	31
4. DESENVOLVIMENTO.....	35
4.1 Introdução.....	35
4.2. Primeira Experiência	35
4.3. Segunda Experiência	43
5. CONCLUSÃO.....	64
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

Índice de Figuras

Figura 1. Pará Carta: SA-22-X-D _ [12]	8
Figura 2. Escudos Cristalinos e Bacias Sedimentares Brasileiros.....	10
Figura 3. Mapa de Geologia	13
Figura 4. Mapa de Geomorfologia.	15
Figura 5. Mapa de Pedologia.....	17
Figura 6. Mapas de Vegetação	21
Figura 7. Dado Cadastral na América do Sul	22
Figura 8. Exemplo de modelo numérico de terreno (isolinhas de topografia). [13].....	23
Figura 9. Imagem do satélite LANDSAT. [14].....	23
Figura 11. Representação matricial (a); e representação vetorial (b).....	26
Figura 12. Seqüência básica	37
Figura 13. Etapas realizadas na primeira experiência	37
Figura 15. Telas de execução do programa Regemmy.....	39
Figura 16. Produto da articulação de quatro mosaicos.....	40
Figura 17. Etapas realizadas na segunda experiência.....	44
Figura 18. Mapa geomorfológico digitalizado	45
Figura 19. Mapa pedológico digitalizado	45
Figura 20. Mapa geológico digitalizado	46
Figura 21. Mapa geomorfológico reclassificado	49
Figura 22. Mapa geológico reclassificado.....	49
Figura 23. Mapa pedológico reclassificado.....	50
Figura 24. “União de todas as águas”.....	54
Figura 25. Regiões Inválidas/ Proibidas	55
Figura 26. Áreas com pelo menos uma ponderação igual a 1	56
Figura 27. Áreas com pelo menos uma ponderação igual a 1	57
Figura 28. Péssimas e não-proibidas	58
Figura 29. Classificados como no mínimo: “bom”	60
Figura 30. Mapa de aptidão	61
Figura 31. Mapa de aptidão usando média simples.....	62
Figura 32. mapa de aptidão usando média ponderada.....	63

1. INTRODUÇÃO

Perfil do Engenheiro de Infra-Estrutura Aeronáutica:

“O Engenheiro de Infra-estrutura Aeronáutica tem o perfil de um “Engenheiro de Concepção”, com sólido embasamento científico e tecnológico, cuja capacitação envolve:

1.A *concepção, o planejamento, o projeto e o gerenciamento de estudos e empreendimentos nas áreas de infra-estrutura aeronáutica, compreendendo:*

- . *Aerportos*. Transporte aéreo (instalações físicas e aspectos operacionais);
- . Tráfego aéreo,

2.O desenvolvimento da tecnologia referente ao projeto e gerenciamento da infra-estrutura aeroportuária;

3.A criação de novos produtos, processos e sistemas pertinentes a sua área de atuação.

Tal formação envolve, também, *a utilização ampla de recursos de informática*, os aspectos da engenharia ambiental, o permanente exercício da ética e a prática de conceitos gerenciais, incluindo o da qualidade total.

A habilitação conferida pelo curso é a da Engenharia Civil, na qual tem calcado currículo, complementado pela pertinente especialização.”

Definição do perfil do engenheiro de Infra-estrutura aeronáutica, transcrita da homepage da Divisão de Infra-Estrutura.

PORTARIA N° 345, de 4 de março de 1999

Art. 2° O Exame Nacional do Curso de Engenharia Civil de 1999 tomará como referência o seguinte perfil delineado para o graduando:

a. Sólida formação básica, indispensável ao exercício profissional do engenheiro civil, aliada à capacidade para enfrentar e solucionar problemas da área e para buscar contínua atualização e aperfeiçoamento;

b. Formação abrangente nas diversas áreas da Engenharia Civil: construção civil, *geotecnia*, transportes, recursos hídricos, saneamento básico e estruturas;

c. Capacidade de utilização da informática como instrumento do exercício da Engenharia Civil;

d. Domínio das técnicas básicas de gerenciamento e administração dos recursos humanos e materiais utilizados no exercício da profissão;

e. Capacidade de utilização de novas alternativas nos campos conceituais e da prática da Engenharia Civil;

f. Capacidade para o trabalho em equipes multidisciplinares;

g. Senso ético-profissional, associado à responsabilidade social;

h. Formação abrangente que lhe propicie sensibilidade para as questões humanísticas, sociais e ambientais.

É refletindo sobre ambas definições acima que se pode entender a motivação para o desenvolvimento do presente Trabalho de Graduação. Qualquer esforço cujo fim é a sedimentação de uma das características descritas acima no Curso de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica do ITA, torna-o interessante e viável segundo o ponto de vista de quem o desenvolveu. Auxiliar no desenvolvimento de uma disciplina ministrada a um estudante de Engenharia de Infra-estrutura Aeronáutica, incorporando-lhe recursos de informática como instrumento de exercício tornou-se, então, a missão do presente trabalho.

A disciplina em questão chama-se Geologia de Engenharia, inserida no departamento de Geotecnia. Seu objetivo é fazer o aluno assimilar alguns de seus conceitos básicos, auxiliando-o no estudo de materiais naturais para a implantação de obras geotécnicas, em especial as obras viárias.

Uma das tarefas exigidas na disciplina de GEO 31 é a escolha de um sítio aeroportuário, ou seja, uma região que apresente características geotécnicas adequadas á

implantação de um aeroporto. Para isso, é preciso conhecer a plataforma genética da região a ser escolhida, visando, basicamente, sob ponto de vista prático, um terreno que apresente solo de bom grau de compactação e boa capacidade de suporte; proximidade a jazida de agregados; e relevo suave.

Esse exercício, obviamente, implica na fase inicial da concepção do empreendimento, e é de suma importância para uma tomada de decisão assertiva. Sua relevância, porém, não exclui a necessidade de se proceder a investigações de campo. Na verdade, teoria e observação devem estar equilibradamente dosadas, alimentando tanto o raciocínio dedutivo quanto o indutivo no enfrentamento de problemas geotécnicos. Esse é o ponto ótimo para uma tomada de decisão na área de GE. (Tarcisio Barreto Celestino e Noris Costa Diniz, 1998)

Objetivando fundamentalmente o aprimoramento da *teoria* que sustenta o processo de escolha de um sítio aeroportuário em potencial, foi então desenvolvido o presente trabalho.

É fato que o uso de computadores tem provocado grande impacto na prática de Geologia de Engenharia por permitir a manipulação de dados volumosos com maior confiabilidade e rapidez, e pela alta capacidade dos processadores disponíveis no mercado, possibilitando, por isso, a realização de análises impossíveis de serem realizadas anteriormente.

A utilização da informática no estabelecimento de Plataforma Genética é o enfoque deste trabalho. Utilizando os mapas geológico, pedológico e geomorfológico da região de Belém, na escala de 1:250.000 (SA-22-X-D), disponibilizados pelo IBGE, percorreram-se inúmeras etapas do geoprocessamento utilizando softwares como ArcMap e ArcView, e produzindo, assim, mapas de aptidão geotécnica para a implantação de um aeroporto.

O presente texto possui uma descrição teórica sobre a Geologia de Engenharia, enumera a teoria sobre SIGs necessária à compreensão do trabalho desenvolvido e detalha os passos e resultados obtidos durante seu desenvolvimento. Por fim, são listadas as conclusões obtidas e algumas sugestões pertinentes.

2. DESCRIÇÃO TEÓRICA

2.1 – Geologia de Engenharia

Segundo o geólogo Álvaro Rodrigues dos Santos, para o atendimento de suas necessidades (energia, transporte, alimentação, moradia, segurança física, comunicação...) o Homem é inexoravelmente levado a aproveitar uma série de recursos naturais (água, petróleo, minérios, energia hidráulica, solos...) e a ocupar e modificar espaços naturais das mais diversas formas (cidades, agricultura, indústria, usinas elétricas, vias de transportes, portos, canais, disposição de rejeitos ou resíduos...), o que já o transformou no mais poderoso *agente geológico* hoje atuante na superfície do Planeta. Para que esse comando da natureza seja coroado de êxito deve incorporar (obedecer) as leis que regem as características dos materiais e dos processos geológicos naturais afetados.

Na medida em que é responsável por melhor orientar as intervenções do homem no planeta, a Geologia de Engenharia tem, portanto, uma grande importância na história da humanidade. Como o próprio nome sugere, essa disciplina aplica conceitos de Geologia (ciência que estuda a origem, transformações e estrutura da crosta terrestre) na resolução de problemas de Engenharia Civil. “A Geologia de Engenharia é a ciência dedicada à investigação, estudo e solução dos problemas de engenharia e meio ambiente decorrentes da interação entre as obras e atividades do Homem e o meio físico geológico, assim como ao prognóstico e ao desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de riscos geológicos”.(conceituação epistemológica oficial presente no estatuto da IAEG - *International Association for Engineering Geology and the Environment*).

Um engenheiro quando absorve os preceitos básicos da GE passa a agregar valor às soluções que eventualmente venha a tomar, já que os conceitos da disciplina ajudam-no a caracterizar melhor o meio físico; programar estudos de problemas definindo diretrizes de soluções de modo mais racional; buscar um melhor equilíbrio com o meio físico (melhores condições para a implantação de uma obra geotécnica), etc.

Dessa maneira, ele é capaz de responder a questões importantes da engenharia como onde dispor o lixo sem que contamine os lençóis freáticos, qual o projeto de fundação mais

adequado para um determinado terreno, como assegurar a estabilidade de uma obra, a otimização de um projeto de rodovia buscando máxima segurança e mínimo custo possíveis, e inúmeros outros.

A disciplina de GEO 31, especificamente, trata de soluções geotécnicas ligadas a obras viárias, em especial, aeroportuárias. Tendo em vista todas as preocupações e peculiaridades envolvidas na construção de um aeroporto, como os projetos de pistas, pátios, drenagem, sistemas de auxílio e de proteção ao vôo, serviços de desmatamento, terraplenagem, pavimentação flexível e rígida, proteção vegetal, sinalização, não se deve esquecer que uma obra aeroportuária sempre é um empreendimento singular no que tange a sua proporção e ao nível de segurança exigido. Ou seja, um aeroporto ou mesmo uma simples aerovia é um empreendimento de grande porte e exige elevado nível de capacidade de suporte para a operação segura das aeronaves na pista.

Um engenheiro responsável e competente deve ter como incipiente meta, não só a viabilidade técnica e econômica de um empreendimento, mas também a maximização do emprego dos recursos disponíveis associada à otimização econômica. Nota-se, portanto, a incondicional necessidade de se investigar, sob a ótica da Geologia de Engenharia, as características geológicas e as propriedades geotécnicas dos terrenos sobre os quais vão se assentar as construções.

2.2 – Análise Geotécnica

O exercício da análise das propriedades geotécnicas trata especificamente da observação dos mapas *geológico*, *geomorfológico* e *pedológico* de uma determinada região, pois são de suma importância e, por esse motivo, muito usados em obras viárias.

O *mapa geológico* permite prever a ocorrência de rochas para fornecimento de agregados; o *mapa pedológico*, a ocorrência de solos para compactação ou agregados naturais; e por fim, o *mapa geomorfológico*, permite prever as condições topográficas e de drenagem do local, para efeito de facilidade de implantação da obra.

Esse exercício, porém, tem sido desenvolvido pelos alunos através do método tradicional de sobreposição, eventualmente facilitado pelo uso das *mesas de luz*. O aluno analisa concomitantemente as informações contidas nos três mapas, buscando localizar

regiões que contemplem o máximo de características favoráveis á implantação de um empreendimento como um aeroporto. Essa técnica, por ser de ser rudimentar e estritamente manual, imprime erros e incertezas nos resultados obtidos. Não é possível, apenas por esse método, delimitar uma área com precisão, e muitas vezes, é incorreto aferir mesmo peso aos diferentes mapas, na tomada de decisão.

Esse exercício implica na fase inicial, de concepção do empreendimento, onde a interpretação da geologia do lugar resulta na previsão do comportamento do meio físico. Deve ser a etapa onde haja uma maior participação de técnicos experientes, que possam visualizar possíveis problemas geológicos baseados em seus conhecimentos e experiências no ramo, já que, como se sabe, essa é uma fase geralmente definida com base em dados escassos, resultantes dos pequenos investimentos destinados à prospecção geológica.

Tudo isso porque, como de consenso entre geólogos e engenheiros, o sucesso de seus trabalhos depende de observações de campo, mesmo tendo havido cuidadoso estudo teórico da plataforma genética local. Conforme afirmou Terzaghi (1981): “Um trabalho bem sucedido em Mecânica dos solos e Engenharia de Fundações exige não só uma fundamentação minuciosa na teoria, combinada a uma vigilância para com possíveis fontes de erro, mas também um acúmulo de observações e de medições de campo...”. Em suma, teoria e observação devem estar equilibradamente dosadas, alimentando tanto o raciocínio dedutivo quanto o indutivo no enfrentamento de problemas geotécnicos. Esse é o ponto ótimo para uma tomada de decisão na área de GE.

2.3 – Particularização do problema

Como já mencionado anteriormente, a finalidade do trabalho é a caracterização da análise geotécnica fazendo uso de um Sistema de Informação Geográfica. Para isso, teve-se de percorrer várias etapas relacionadas a geoprocessamento, para que pudessem ser gerados resultados e conseqüente avaliação do método proposto.

É razoável perceber que necessário se fez a escolha de uma única região para que houvesse uma garantia de consistência dos dados, embora, e válido ressaltar, a escolha dessa região não implica num estudo particular da mesma, pois, neste caso, estar-se-ia fugindo do enfoque pertencente a este trabalho.

A região escolhida foi a localidade de Belém-PA. Essa escolha deveu-se primeiramente pela disponibilidade, embora a dificuldade de acesso, dos mapas geológico, pedológico e geomorfológico em formato digital por parte do Departamento de Recursos Naturais do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O outro motivo foi a identidade da disciplina com a região Amazônica, já que, não raro, muitos Engenheiros de Infra-Estrutura vêm a desempenhar sua profissão nessa região.

As cartas citadas, SA-22-X-D, cuja escala é de 1:250.000, possuem sistema de projeção UTM, *Datum* Horizontal SAD 69. Elas foram elaboradas no ano de 2003, e são produto da compatibilização e atualização das informações temáticas integrantes do Levantamento de Recursos Naturais do Projeto RADAMBRASIL. As atualizações foram feitas utilizando-se imagens atuais de sensores orbitais, em especial o LANDSAT (1999 a 2001), informações originadas em fontes bibliográficas recentes, incorporação de estudos realizados por outras instituições e trabalhos de campo em cumprimento às atividades do Projeto Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais, da Diretoria de Geociências do IBGE. As informações gráficas e alfanuméricas que compõem essas cartas estão estruturadas em um banco de dados justamente para serem utilizadas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

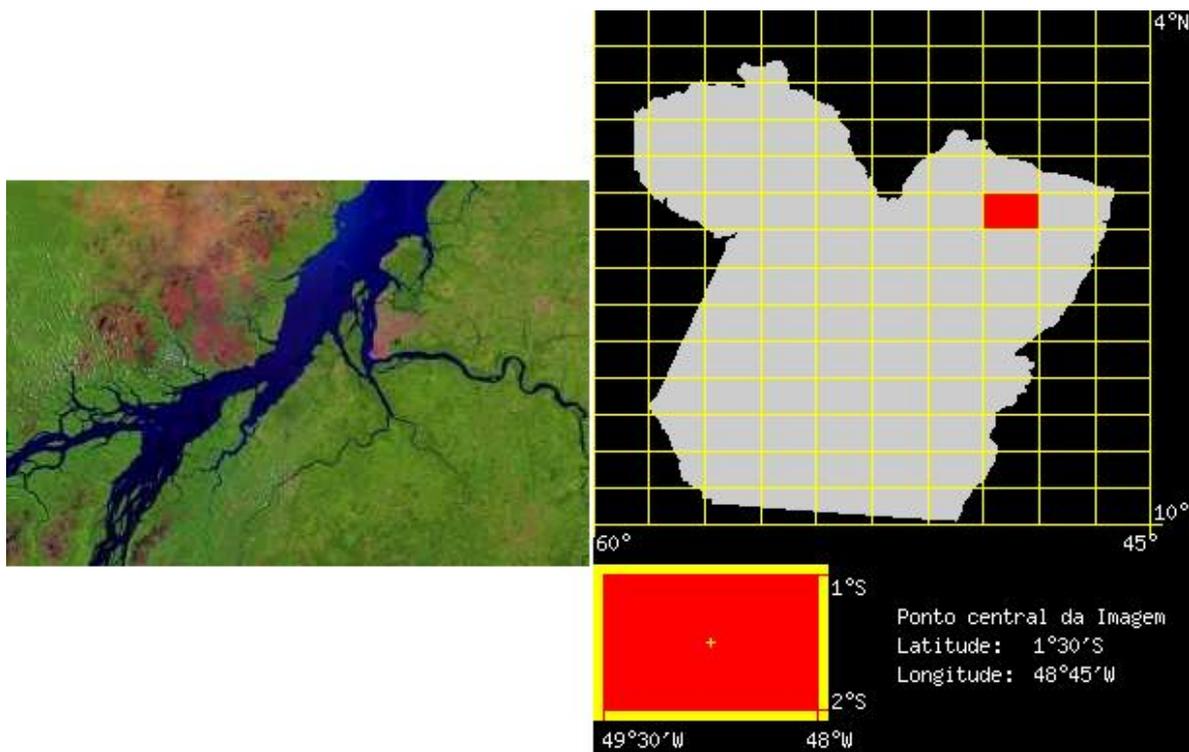


Figura 1. Pará Carta: SA-22-X-D _ [12]

2. 4 – Caracterização da região

“Caracterizando sua realidade física, inúmeras peculiaridades concernentes à implantação de obras viárias tornam a Amazônia singular em relação a outras regiões. Aspectos como as grandes ocorrências de solos lateríticos concrecionados, plintíticos e sedimentares de textura fina parcialmente evoluídos, os grandes depósitos de areia e seixo rolado em rios e terraços, os esparsos afloramentos rochosos, as dificuldades construtivas sob acentuadas condições climáticas, os acessos difíceis e as grandes distâncias a cobrir-se, a carência de materiais tecnicamente convenientes em extensas áreas e a falta de metodologia adequadas, são fatores que acabam por condicionar os sucessos e insucessos das obras ali implantadas.” [3]

A premissa de serem elaborados mapas pedológicos, geomorfológicos, de vegetação e uso da terra na região Amazônica norteou levantamentos aéreos, geofísicos e de campo por parte de diversas instituições como EMBRAPA, INPA, SUDAM, RADAMBRASIL e outros, onde, embora informações fossem geradas sobre os solos por meio de ensaios físico-químico-mineralógicos, abordagens geotécnicas não eram consideradas. Um agravante é o fato de antigas estradas de ferro, implantadas no início do século como a

Bragança, Tocantins e Madeira-Mármore, já desativadas, nada terem registrado sobre os problemas geotécnicos decorrentes de suas construções. O que se sabe dessas obras viárias mais antigas, é o emprego de solos aluviais residuais nos aterros nas referidas estradas de ferro, e o uso da couraça laterítica na construção do lastro da ferrovia da Serra do Navio-Porto de Santana, no Amapá, por volta de 1950, porém sem registros.

Começou-se a dar ênfase ao enfoque geotécnico a partir da construção de grandes rodovias federais como a Manaus-Porto-Velho, Belém-Brasília, Porto Velho-Cuiabá, Transamazônica, Perimetral Norte e Cuiabá-Santarém, onde inúmeros problemas geotécnicos surgiram justamente pela falta de metodologias apropriadas, além da carência de materiais pétreos, clima severo, topografia acidentada e outros. Hoje é fato conhecido que centenas de quilômetros dessas estradas encontram-se em condições intransitáveis, inclusive com trechos executados com solo-cimento. A compactação dos solos em épocas chuvosas era fator limitante, quando a umidade natural superava a ótima, o que demandava, em certos locais, o emprego de lonas de plástico sobre o leito da estrada e mesmo o uso de fornos a óleo para secagem dos solos mais úmidos, como foi o caso da rodovia asfaltada Manaus-Porto Velho. [3]

2.4.1 – Gênese do local

A região de Belém encontra-se na bacia sedimentar da região Amazônica. A bacia sedimentar do Amazonas abrange uma faixa de aproximadamente 200 km de largura, de ambos os lados do rio Amazonas, em seu curso médio, alargando-se para as cabeceiras e distribuindo-se do Acre ao Pará. Compreende 4 partes ou sub-bacias, separadas por altos do embasamento. São elas: Acre, Alto do Amazonas, Médio Amazonas e Baixo Amazonas.

A bacia intracratônica do Amazonas superpõe-se parcialmente à fossa tectônica do Marajó. Em outras palavras, a Bacia do Amazonas encontra-se estruturalmente interrompida em seu contato com a fossa do Marajó.

Os principais ambientes geológicos existentes nessa região são caracterizados na era *Cenozóica*. A bacia Amazônica compõe-se de uma deposição sedimentar flúvio-lacustre (espessura podendo ser superior a 100m), correspondendo a arenitos, siltitos e argilitos caulínicos, maciços ou acamados, com lentes de conglomerados, e apresentando

normalmente estratificação horizontal ou cruzada, podendo ocorrer localmente conglomerados e calcários sílticos argilosos e arenosos. A bacia de Marajó corresponde a uma fossa tectônica preenchida por sedimentos cretáceos, terciários e quaternários, atingindo espessuras totais de cerca de 4km. Nas plataformas do Pará e Amapá predominam os calcários fossilíferos. Nesse ambiente, a evolução do relevo deu origem a uma série de platôs, onde a atuação do intemperismo físico-químico sobre as rochas areno-argilosas foi responsável pela formação local de depósitos de bauxita e caulim.

É de fato aceito que grande parte da Amazônia tenha permanecido coberta durante os períodos interglaciais do Quaternário por um mar interior de pouca profundidade, quando o nível dos oceanos atingiu 100 metros acima do atual (330.000 anos atrás) e passou a flutuar durante várias épocas glaciais e interglaciais, formando terraços ao longo dos cursos d'água, até atingir 100 metros abaixo do nível de hoje durante a última glaciação (17.000 anos atrás), quando deixou profundos canais nos rios, elevando-se posteriormente à cota atual (6.000 anos atrás).[3]



Figura 2. Escudos Cristalinos e Bacias Sedimentares Brasileiros.

Geologia

Pode-se definir *Geologia* como a ciência cujo objeto de estudo é a Terra: sua origem, seus materiais, suas transformações e sua história. A interpretação da Geologia constitui uma prática corrente em Geologia de Engenharia. Essa prática envolve a tradução de uma linguagem própria da Geologia para uma linguagem de GE, na qual são valorizadas as características mecânicas e hidráulicas, em função do uso a que essa geologia se destina. Importante expor, no entanto, a necessidade de prudência na previsão do comportamento geotécnico esperado das rochas e seus respectivos solos, sob a condição da interpretação da geologia para fins de engenharia.

Como já exposto anteriormente, a função da análise de um mapa geológico para fins de uma obra geotécnica é a identificação de rochas para o fornecimento de *agregados*. Segundo Frazão e Paraguassu (1998), os materiais rochosos são utilizados na construção civil de diversas formas e finalidades. Suas formas mais comuns são: pedra britada, pedrisco, areia artificial, pó de pedra, seixos e areia natural. A utilização desses materiais numa obra aeroportuária é destinada ao preparo das camadas do perfil do pavimento, como por exemplo, uma base de brita graduada, ou como agregado do concreto asfáltico. Observar características como a porosidade, a permeabilidade e as estruturas presentes dos materiais rochosos, pode fornecer subsídios para o entendimento das qualidades mecânicas

Geologia da região de Belém

Belém é uma região composta por rochas sedimentares. São conhecidas, em GE, como rochas brandas, pois, em geral, apresentam baixas resistências mecânicas, e muitas vezes, são friáveis, devido à menor coesão dos minerais constituintes. Com vista ao uso em Engenharia Civil, é importante sua caracterização tecnológica e petrográfica, determinando-se assim, a mineralogia, a presença de matriz argilosa, o tipo e modo de distribuição do material

A região de Belém, segundo o mapa geológico utilizado, apresenta as seguintes classes geológicas, em ordem de procedência:

- **Qpdl - Cobertura Detrito-laterítica Neopleitocênica** – sedimentos argilo-arenosos amarelados, caoliníticos, aulóctones, autóctones.

As rochas detríticas são rochas sedimentares formadas pelo acúmulo e posterior diagênese de sedimentos derivados da desagregação e decomposição de rochas na superfície terrestre. A composição destes sedimentos reflete os processos de intemperismo e a geologia da fonte. Esses sedimentos podem ser de natureza terrígena (derivados de rochas existentes na sup terrestre), piroclática (derivados de erupções vulcânicas) e calcária (derivados do retrabalhamento de partículas calcárias). A mais comum das rochas detríticas é o arenito, da classe quartzo-arenito: o quartzo constitui 95% dos grãos clásticos. O cimentante, quando existe, é a sílica ou carbonatos. Forte coesão. Quando de cor avermelhada, possui finíssima película de óxidos de ferro que recobrem os grãos.

- **Tnb – Grupo Barreiras**- argilitos esbranquiçados, avermelhados quando oxidados, caulínicos maciços e/ou laminados. Intercalações de arenitos finos, siltitos e lentes de microconglomerado e arenito grosso. Estes de coloração amarelada e avermelhada, ferruginosos.

- **Qha – Aluviões Holocênicos** - São sedimentos recentes, inconsolidados, constituídos por areias quartzosas de granulação fina, cascalho fluvial, argilas e siltes.

Os depósitos aluviais são muito trabalhados e mutáveis devido à erosão fluvial. Foram depositados durante as secas ou nos locais de remansos quando cai a energia da corrente do rio, vão ser, em seguida, erodidos pela força da água da cheia.

- **Qptfm - Terraços Fluviomarinhas Pleitoscênico** – areias ligadas a praias e zonas pantanosas argilosas, relativa a mangues. Os terraços são aluviões antigos, depositados quando o nível do curso d'água encontrava-se em posição superior à atual. Em consequência, os terraços encontram-se sempre em cotas mais altas que os aluviões. São caracterizados por areia grossa e cascalho.

- **Qhfm - Aluviões Fluviomarinhas Holocênicos** – areias e argilas acumuladas pelos sist. Fluviais e marinhos, com desenvolvimento de praias e manguezais.

- **Qht - Terraços Holocênicos** – cascalhos lenticulares de fundo de canal, areias quartzosas inconsolidadas de barra em pontal, e siltes e argilas de transbordamentos.

Mapa de Geologia

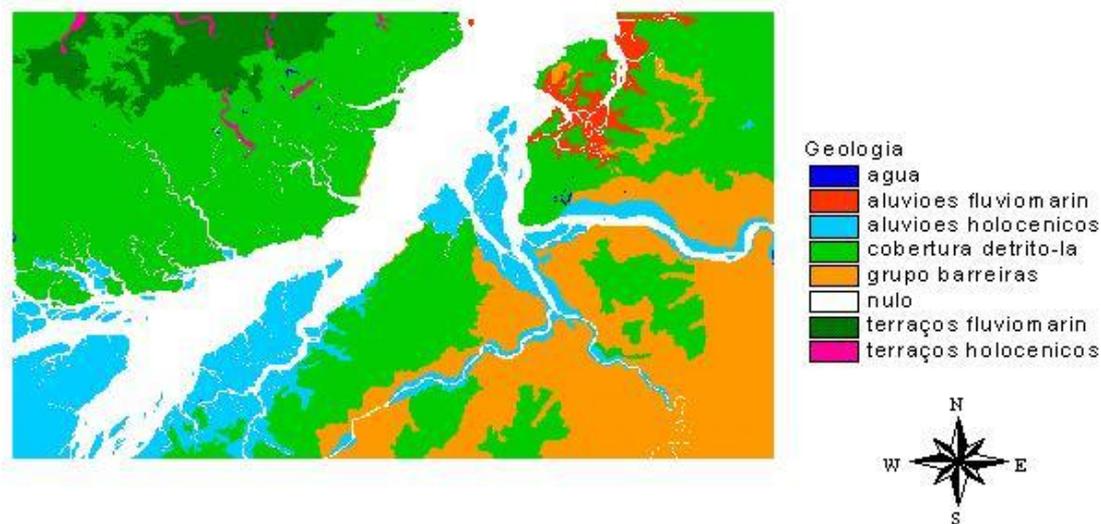


Figura 3. Mapa de Geologia

Geomorfologia

A geomorfologia de uma região está intimamente ligada ao seu relevo. O relevo da superfície terrestre é o resultado da interação entre a litosfera, a atmosfera e a hidrosfera, em cuja interface se desenvolvem processos de troca de matéria e energia, que, ao longo do tempo e do espaço, condicionam a evolução de diferentes feições do relevo. Na realidade, o relevo nada mais é que as reentrâncias e saliências da superfície da Terra.

A amplitude e a declividade caracterizam as formas de relevo, as quais, em seu arranjo espacial, permitem definir diversos seus diversos. Assim por exemplo, é possível identificar superfícies planas, relevos colinosos, regiões montanhosas, cuja distribuição altimétrica permite caracterizar os principais compartimentos do relevo brasileiro, que são os planaltos, as depressões e as planícies.

Geomorfologia da região de Belém

As classes geomorfológicas encontradas no mapa de Belém foram:

379 - litoral de mangues e rias – área plana resultante da acumulação fluvial/marinha. Várzeas, lagos, áreas sujeitas a inundações periódicas.

294 – planícies fluviais – área plana resultante da acumulação fluvial periódica ou permanentemente alagada, podendo comportar meandros alagados.

380 – planícies litorâneas de marajó -terraço fluviolacustre/ fluviomarinho – área plana apresentando ruptura de declive em relação á bacia/ canal fluvial, entalhada devido a variações do nível d’água.

356– tabuleiro do marajó – pediplano retocado inumado. Superfície de aplainamento elaborada durante fases sucessivas de retomada de erosão, sem, no entanto, perder suas características de aplainamento- planos inclinados, levemente côncavos.

359 – tabuleiros paraenses – sem descrição

151 – sem referência

350 – sem referência

Necessário se faz relatar a existência de certos erros na base de dados. Um deles é o que se pode observar acima na discriminação das classes geomorfológicas. Existem duas classes identificáveis no mapa, porém que não apresentam descrição ou legenda. Como dito anteriormente, é um defeito da base de dados, que, no entanto, não impede a realização o exercício proposto, como pode ser visto no capítulo 4.

Mapa de Geomorfologia

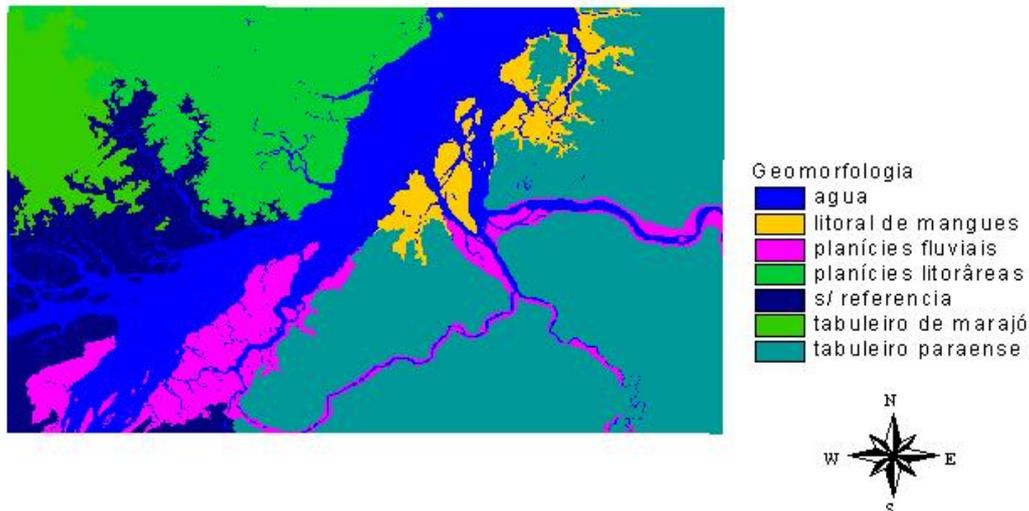


Figura 4. Mapa de Geomorfologia.

Pedologia

A pedologia é a ciência responsável pelo estudo da gênese dos solos, enquanto produtos da evolução pedogenética.

Solos encontrados na região de Belém, segundo o mapa disponível:

- **Latossolo:** solo mineral não-hidromórfico, desenvolvido nas zonas de oxidação do terreno, em ótimas condições de drenagem, pouco afetados pelo lençol freático d'água subterrânea. Tendem a ocorrer em relevos suaves, de vertentes pouco declivosas.

Principais características:

- . Cor vermelha, alaranjada ou amarela, muito porosos, com textura variável, baixa . capacidade de troca de cátions e fortemente intemperizados.

- . Teores de óxidos de ferro e alumínio elevados.

- . Grande profundidade, porosidade e a pequena diferenciação entre horizontes, com. transição gradual ou difusa e textura praticamente uniforme em profundidade.

- . Encontrados nas regiões de clima tropical-úmido, sendo solos bastante envelhecidos, estáveis e intemperizados.

- **Gleissolos:** materiais argilosos, provenientes de sedimentos de diferentes procedências. Apresentam a seqüência de horizontes de A-C, com o horizonte A concentrado em matéria orgânica, e o C com hidromorfismo acentuado, com coloração acinzentada, característica de ferro reduzido. Ocorrem em áreas mal drenadas, onde o lençol freático fica elevado durante a maior parte do ano, sujeitas a enchentes periódicas. Algumas características de interesse geotécnico:

- . LF próximo à superfície;
- . Textura argilosa;
- . Impróprios como materiais de aterro compactados;
- . Condições precárias de fundação, considerados com solos moles
- . Ocorrem em áreas inundáveis nos períodos chuvosos;
 - . Má qualidade da água subterrânea, em geral concentrada em sais;
 - . Baixa drenabilidade.

- **Plintossolos:** Solos abundantes na região Amazônica. São materiais argilo-ferruginosos pobre em húmus e de diferentes texturas, onde predominam mosqueados com alta segregação de ferro, de coloração amarelo-avermelhada e vermelho-escura, e que podem endurecer irreversivelmente quando submetidos a ciclos de molhagem-secagem, sendo sua origem, ocorrência e evolução pedológica diretamente condicionadas às oscilações do LF e à topografia local. São solos recentes, ainda em processo de transformação. A seqüência natural de transformação dessa classe de solo, daqui há alguns milhares de anos, porem, é a formação do solo laterítico. Para o aproveitamento desse solo em regiões de escassez de solo de boa qualidade geotécnica, uma solução alternativa é condicioná-los a aeração, e à adição de ácido fosfórico, que produz oxidação, possibilitando, após um período de aproximadamente 6 meses, a utilização do mesmo para a construção.

- **Espodossolo ferrihumílico (podzol hidromorfo):** Material arenoso. São formados a partir de sedimentos areno-quartzosos, inconsolidados, de diversas origens,

ocorrendo em planícies, na faixa litorânea ou próximo ao litoral. Trata-se de solo mal drenado. Quando desprovidos da vegetação nativa, perdem rapidamente o conteúdo de matéria orgânica da parte superficial, restando apenas areia quartzosa facilmente erodível. Possui geralmente lençol freático próximo a superfície, com aspecto ferruginoso e/ou contaminado por compostos orgânicos.

- **Neossolo quartzênico:** São essencialmente arenosos e profundos, constituídos quase que exclusivamente por grão de quartzo, contendo conseqüentemente pequena quantidade de minerais primários intemperizáveis. Ocorre em áreas de topografia suave, como planícies marinhas, como produtos da pedogênese de sedimentos. Aspectos interessantes do ponto de vista geotécnico:

.LF profundo;

. Textura arenosa;

.Impróprios para aterros compactados, a não ser quando misturados com argila, mas podendo ser explorados com areia;

. Baixa suscetibilidade a erosão em baixas planícies.

Mapa de pedologia

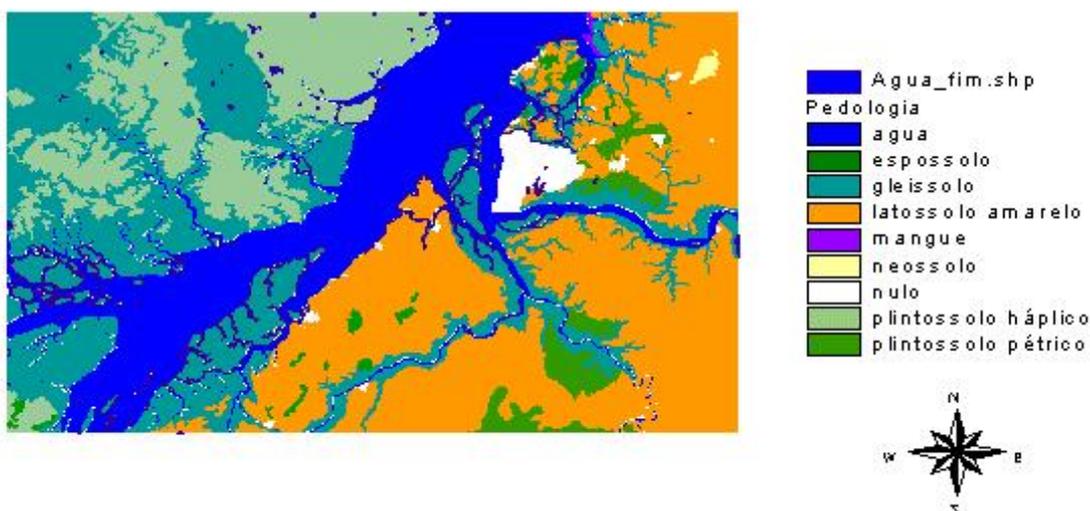


Figura 5. Mapa de Pedologia

3. SIG (SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA)

3.1 - Considerações Gerais

Como anteriormente citado em outros capítulos, a utilização do Geoprocessamento na determinação da plataforma genética é o objeto de estudo desse Trabalho. Geoprocessamento nada mais é que o processamento computacional de informações geográficas. Ele compreende as atividades de aquisição, tratamento e análise de dados sobre a Terra. Isto envolve desde um conjunto de tecnologias para a coleta de imagens da superfície do planeta, conhecido como Sensoriamento Remoto, até o processamento e análise desses dados, em forma de mapas digitais, usando-se os SIG (Sistemas de Informação Geográfica).

De caráter transdisciplinar, esse poderoso conjunto instrumental se aplica a diversos campos profissionais, tornando-se imprescindível para projetos que lidam com questões voltadas à organização, planejamento e gestão do espaço geográfico ou que envolvam análises espaciais em seus estudos. Para tanto, o Geoprocessamento incorpora tecnologias de última geração, envolvendo desde satélites de observação da Terra, técnicas de mensuração por sistemas de posicionamento GPS, até sofisticados programas e equipamentos de informática.

O estabelecimento da plataforma genética, que é o objetivo do presente trabalho, implica na análise de dados geográficos. Dessa maneira, o SIG é a ferramenta do campo do geoprocessamento escolhida para o desenvolvimento dessa atividade.

3.2 – SIG

Segundo Hanigan (1988), um SIG tem a seguinte definição: “um SIG é qualquer sistema de gerenciamento de informações capaz de: coletar, armazenar e recuperar informações baseadas nas suas localizações espaciais; identificar locais dentro de um ambiente que tenha sido selecionado a partir de determinados critérios; explorar relações entre os dados de certo ambiente; analisar os dados espaciais para subsidiar os critérios de formulação de decisões; facilitar a exportação de modelos analíticos capazes de avaliar

alternativas de impactos no meio ambiente; exibir e selecionar áreas, tanto graficamente como numericamente, antes e/ou depois das análises.”

O uso da informática, dessa maneira, torna-se imprescindível quando se trata de um SIG. Basicamente, para que ele trabalhe de maneira eficaz, deve existir uma base de dados integrada, esses dados devem estar geo-referenciados e com controle de erro. O SIG deve conter funções de análises destes dados que variem de álgebra cumulativa (operações tipo soma, subtração, multiplicação, divisão, etc.), até álgebra não cumulativa (operações lógicas).

Com isso, um SIG é capaz de realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados. Pode-se dizer, de forma genérica, “*Se **onde** é importante para seu negócio, então Geoprocessamento é sua ferramenta de trabalho*”. Sempre que o **onde** aparece, dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos por um sistema informatizado, haverá, então, uma oportunidade para considerar a adoção de um SIG.

É por esse motivo que os SIGs vêm sendo utilizados na solução de problemas dos mais variados tipos, envolvendo disciplinas das mais diversas. São exemplos de quem faz uso de SIGs, de acordo com o Prof. Dr. Sílvio Luís R. Neto, da UDESC:

- empresas prestadoras serviços especializados em dados espaciais, como de Topografia, Aerofotogrametria, Cartografia e Sensoriamento Remoto, que vêem a tecnologia SIG como repositório dos dados que geram;
- empresas de consultoria em Engenharia e áreas afins que vêem a tecnologia SIG como um aliado poderoso na solução dos problemas de seus clientes;
- prefeituras municipais que utilizam SIG para solução de cadastros técnicos voltados a atividades de planejamento e gestão urbana, tributação, controle de tráfego, meio ambiente, saneamento e outros;
- empresas públicas responsáveis por atendimentos a emergências e gerenciamento de riscos ambientais, e muitos outros.

3.3 – Histórico do SIG

O primeiro Sistema de Informação Geográfica surgiu em 1962, no Canadá, quando Tomlinson, do *Canadian Land Inventory* desenvolveu o C_{GIS} (*Canadian Geographic Information System*), como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais. Estes sistemas, no entanto, eram muito difíceis de usar: não existiam monitores gráficos de alta resolução, os computadores necessários eram excessivamente caros, e a mão de obra tinha que ser altamente especializada e caríssima.

Além disto, a capacidade de armazenamento e a velocidade de processamento eram muito baixas. Ao longo dos anos 70 foram desenvolvidos novos e mais acessíveis recursos de hardware, tornando viável o desenvolvimento de sistemas comerciais. Foi também nesta época que começaram a surgir os primeiros sistemas comerciais de CAD (*Computer Aided Design*, ou projeto assistido por computador), que melhoraram em muito as condições para a produção de desenhos e plantas para engenharia, e serviram de base para os primeiros sistemas de cartografia automatizada. Também essa mesma década foi contemplada com o aparecimento de imagens de sensoriamento remoto, que viria a se tornar uma das fontes mais importantes para os SIGs.

A definitiva incorporação do SIGs nos mais diversos setores da sociedade aconteceu na década de 80. Foi quando os GIS se beneficiaram grandemente da massificação causada pelos avanços da microinformática e do estabelecimento de centros de estudos sobre o assunto. Podemos citar com exemplo, o aparecimento da plotagem eletrostática, do scanner e das estações de trabalho.

No decorrer dos anos 80, com a grande popularização e barateamento das estações de trabalho gráficas, além do surgimento e evolução dos computadores pessoais e dos sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais, ocorreu uma grande difusão do uso de GIS. Da década de 90 até os dias de hoje, observa-se um grande crescimento do ritmo de penetração do GIS nas organizações, sempre alavancado pelos custos decrescentes do hardware e do software, e também pelo surgimento de alternativas menos custosas para a construção de bases de dados geográficas.

A vinda ao Brasil, em 1982, do Dr. Roger Tomlinson, responsável pela criação do C_{SIG}, incentivou o aparecimento de vários grupos interessados em desenvolver essa tecnologia, entre os quais podemos citar:

- O grupo do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da UFRJ desenvolveu o SAGA (Sistema de Análise Geo-Ambiental);
- De 1984 a 1990, a DPI (Divisão de Processamento de Imagens) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), responsável pelo desenvolvimento de tecnologia de geoprocessamento e sensoriamento remoto, desenvolveu o SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e o SGI (Sistema de Informações Geográficas), para ambiente PC/DOS, e, a partir de 1991, o SPRING (Sistema para Processamento de Informações Geográficas), para ambientes UNIX e MS/Windows.

3.4 – Tipos de Dados em Geoprocessamento

3.4.1 – Dados Temáticos

Os dados temáticos descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica qualitativamente, como os mapas de pedologia e a aptidão agrícola de uma região. Os dados apresentados na figura --- (mapa de vegetação) são exemplos de dados temáticos.

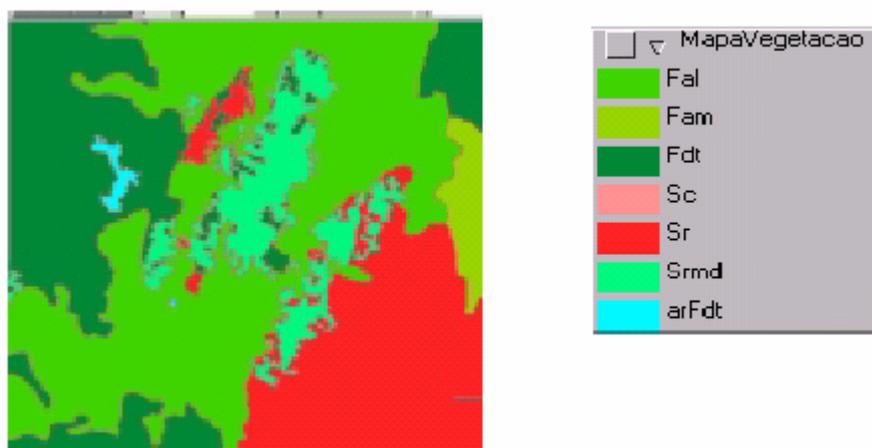


Figura 6. Mapas de Vegetação

3.4.2 – Dados Cadastrais

Num dado cadastral, cada um de seus elementos é um *objeto geográfico*, que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. Por exemplo, os lotes de

uma cidade são elementos do espaço geográfico que possuem atributos não-gráficos (dono, localização, valor venal, IPTU devido, etc.) e que podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas. Os atributos são armazenados em um sistema gerenciador de banco de dados. Na Figura 7, tem-se um exemplo de dado cadastral da América do Sul, onde os países possuem atributos não-gráficos (PIB e população)

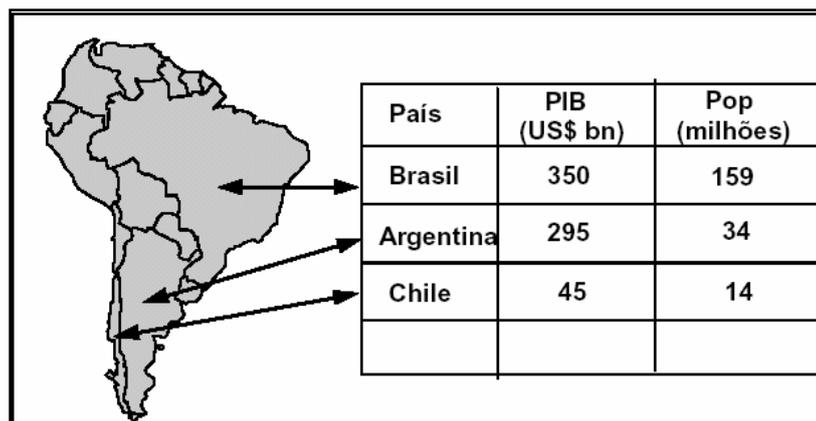


Figura 7. Dado Cadastral na América do Sul

3.4.3 – Redes

No universo conceitual do geoprocessamento, o conceito de "rede" denota as informações geralmente associadas a serviços de utilidade pública, como água, luz e telefone, redes de drenagem, rodovias, etc. Suas informações gráficas são armazenadas em coordenadas vetoriais.

3.4.4 – Modelos Numéricos de Terreno

O termo *modelo numérico de terreno* (ou MNT) é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço.

Como exemplo de uso de modelo numérico de terreno, pode-se citar:

- . Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- . Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- . Cômputo de mapas de declividade e exposição para apoio a análises de geomorfologia e erodibilidade, etc.

A figura 8 mostra um exemplo desse tipo de dado.

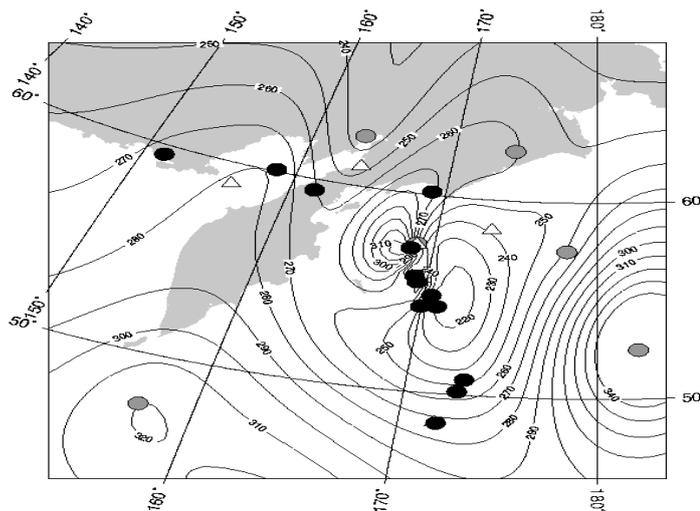


Figura 8. Exemplo de modelo numérico de terreno (isolinhas de topografia). [13]

3.4.5 – Imagens

Obtidas por satélites, fotografias aéreas ou "scanners" aerotransportados, as imagens representam formas de captura indireta de informação espacial. Elas são armazenadas como matrizes, onde cada elemento de imagem (denominado "pixel") tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.



Figura 9. Imagem do satélite LANDSAT. [14]

3.5 - Universo da Representação

No universo de representação, definem-se duas grandes classes de representações geométricas: REPRESENTAÇÃO VETORIAL e REPRESENTAÇÃO MATRICIAL.

3.5.1– Representação Vetorial

No modelo vetorial, a representação gráfica do mundo real é feita através de sistemas de coordenadas, de modo que a unidade fundamental do dado vetorial é o par de coordenadas (x,y). Esses dados podem ser representados na forma de três elementos gráficos diferentes: Ponto, linha e polígono.

As entidades pontuais são representadas por um único par de coordenadas; as linhas, também conhecidas como arcos ou elementos lineares, são um conjunto de pontos conectados representados por dois ou mais pares de coordenadas. Um polígono é a região do plano limitada por uma ou mais linhas conectadas de tal forma que o último ponto de uma linha coincida com primeiro da próxima.

É interessante ressaltar que a expressão VETOR pode estar se referindo não só a um único elemento desse três citados, mas a uma combinação de linha e pontos, por exemplo. Ou seja, teoricamente pode-se utilizar mais de uma primitiva para a representação de um objeto. É o caso da delimitação do estado do Pará. Como esse Estado é formado não só por uma área continental, mas também por uma ilha, a Ilha de Marajó, o Estado do Pará é um objeto composto por mais de um polígono.

Outra informação pertinente é a de que esses objetos de área podem estar caracterizados de três formas distintas: como objetos *isolados*, *aninhados* ou *adjacentes*. O caso de objetos isolados ocorre quando os objetos da mesma classe não se tocam. Por exemplo, as quadras de um bairro, edificações, piscinas, ocorrem isoladamente, não existindo segmentos poligonais compartilhados entre os objetos. No caso de objetos aninhados, um bom exemplo é o das isolinhas, como as curvas de nível, em que se tem linha que não se cruzam. Finalmente, existem os objetos adjacentes, onde há o compartilhamento de fronteiras. Esse é o caso do objeto de estudo do presente trabalho, cujos dados são os mapas geológico e pedológico e geomorfológico, onde há a representação de fenômenos que cobrem toda a área de interesse.

Nesse caso, como se quer armazenar explicitamente as relações de adjacência entre polígonos, devem-se utilizar formas específicas de representação vetorial: as

representações topológicas. Há basicamente dois tipos de representações topológicas: Topologia Arco-nó, relativa a objetos de linhas, associada a uma rede linear conectada; e a Topologia Arco-nó- polígono, que trata da representação de elementos gráficos do tipo área, caso do presente estudo. [14]

Topologia Arco-nó- polígono:

Seu objetivo é descrever as propriedades topológicas de áreas de tal maneira que os atributos não-espaciais associados aos elementos ou entidades poligonais possam ser manipulados da mesma forma que os correspondentes elementos em um mapa temático analógico. Neste caso, faz-se necessário armazenar informação referente aos elementos vizinhos.

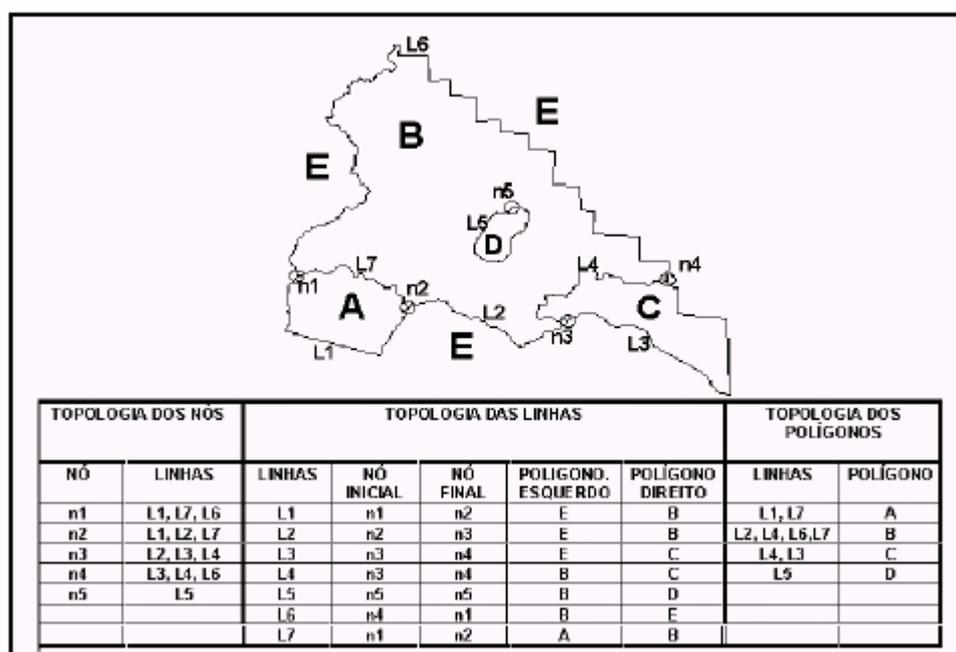


Figura 10. Exemplo de Topologia Arco-Nó[15]

3.5.2- Representação Matricial ou raster:

O dado raster ou matricial representa graficamente o mundo real através de pixels ou células. Nessa representação o espaço corresponde a uma matriz $P(m, n)$ composto de m colunas e n linhas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e

um valor correspondente ao atributo estudado, e cada célula pode ser acessada pelas suas coordenadas individualmente.

A resolução do sistema matricial é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa e a área por ela coberta no terreno. Um mapa que possui uma resolução quatro vezes menor que outro, por exemplo, possui as avaliações de áreas e distâncias bem menos exatas. Em contrapartida, o espaço de armazenamento necessário será quatro vezes menor.

Os dados do tipo raster são codificados, célula a célula, sendo atribuída a cada uma o código correspondente à uma determinada classe. Para isso, necessário se faz a escolha de um critério que deve ser seguido do início ao fim da operação. Pode-se, por exemplo, seguir a regra de se atribuir a cada célula o código da classe sobre a qual estiver o centro da quadrícula. Outra possibilidade é adotar o critério da maior ocorrência, ou seja, o código que preenche maior área da célula prevalecerá.

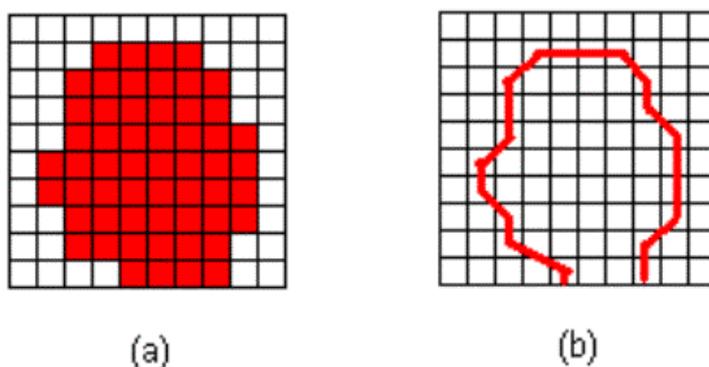


Figura 11. Representação matricial (a); e representação vetorial (b)

3.5.3– Comparação entre dados vetoriais e dados raster

Sabe-se que um dado temático admite tanto a representação matricial ou raster, quanto a vetorial. Dessa forma, é interessante reconhecer aspectos relevantes como relacionamentos espaciais, análise e armazenamento para que se possa identificar o formato mais vantajoso para cada caso. Para a produção de cartas e em operações onde se requer maior precisão, por exemplo, a representação vetorial é mais adequada. Já as operações de álgebra de mapas são mais facilmente realizadas no formato matricial. No entanto, para um mesmo grau de precisão, o espaço de armazenamento requerido por uma representação matricial é substancialmente maior. As tabelas abaixo resumem as vantagens e desvantagens de ambas representações:

Tabela 1. Comparação entre dados matriciais e vetoriais (vantagens)

	MATRICIAL	VETORIAL
VANTAGENS	estrutura simples	estrutura de dados compacta
	facilita operações de superposição	codificação da topologia é mais eficaz e por isso análises de rede são mais facilmente implementadas
	operações matemáticas com maior precisão	se aproxima mais de desenhos feitos à mão
	operações de análise, modelagem e simulação facilitadas	o armazenamento é por coordenadas- mais eficiente
	melhor representação de fenômenos com variação contínua no espaço	adequando tanto a grandes quanto a pequenas escalas de trabalho
	processamento de algoritmos mais fácil e eficiente	facilita associar atributos a elementos gráficos

Tabela 2. Comparação entre dados matriciais e vetoriais (vantagens)

	MATRICIAL	VETORIAL
DESvantagens	estrutura de dados ocupa muito espaço de memória	A estruturação de dados é complexa
	relações topológicas são de difícil representação	Operações de superposição são de difícil implementação
	resultado final pode não ser esteticamente agradável	A representação de alta variabilidade espacial não é eficaz
	associa atributos apenas a classes de mapa	Álgebra de mapas é limitada Apresenta problemas com erros geométricos no processamento algoritmos

3.6 – Funcionalidades de um SIG

O que diferencia um GIS de um sistema de banco de dados convencionais, é o fato de o GIS armazenar informações de natureza gráfica, como vetores e imagens. Dessa forma, o GIS deve conter interfaces que permitam ao usuário a incorporação de dados e sua visualização gráfica. Além disto, o sistema precisa ser capaz de detectar falhas e incorreções nos dados gráficos, e sinalizá-los para o usuário antes de deixar que dados incorretos ou inconsistentes sejam incorporados ao banco de dados geográfico. Em resumo, um eficiente Sistema de Informações Geográficas deve ser capaz de:

- Permitir a digitalização (processo de captura de dados feito através do mouse ou mesa digitalizadora) de dados gráficos em formato vetorial, provendo os meios para associação (ou digitação) das informações alfanuméricas correspondentes;

- Permitir a associação de imagens digitais ao banco de dados, através de recursos de georreferenciamento de imagens ou mesmo através da integração da imagem ao banco. Para isto, precisa ser capaz de converter ou traduzir arquivos de imagem codificados em diversos formatos distintos para o formato adotado por ele;
- Realizar análises de consistência sobre os dados vetoriais, visando detectar incorreções na topologia ou inconsistências com relação ao modelo de dados. Estas incorreções incluem: erros de fechamento topológico (elementos poligonais), superposições indesejáveis, *undershoots*, *overshoots*, etc.;
- Realizar procedimentos de “limpeza” ou correção sobre os dados adquiridos, visando melhorar sua qualidade e prepará-los para a incorporação ao banco de dados geográfico. Estes procedimentos incluem *edge matching*, eliminação de vértices desnecessários, suavização de curvas, etc.;
- Receber, converter e tratar dados provenientes de outros sistemas de informação, geográficos ou não, gráficos ou não, a partir de arquivos de formato padronizado.

3.7 – Captura de Dados

A Captura de dados é uma etapa do geoprocessamento bastante delicada. A entrada de dados para alimentar o Sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) é uma das etapas do processo de análises de dados espaciais que requer cuidados especiais. A necessidade evidente de que os dados estejam em uma linguagem aceita pelos computadores, torna essa tarefa difícil e exige procedimentos peculiares. Estes procedimentos, geralmente, correspondem a aproximadamente 75% dos esforços físicos, financeiros e intelectuais de um projeto envolvendo SIG.[15]

A inserção de dados geográficos em um SIG pode se dar basicamente pelas seguintes técnicas:

- Digitalização, processo manual executado por meio de um mouse próprio e mesa digitalizadora, onde o mapa é fixado. Pontos de controle são então identificados, tais como intersecção de estradas e pontos geodésicos. Os pontos são capturados acionando-se uma única vez o mouse; as retas, digitalizando-se o primeiro e último pontos; as curvas,

arrastando-se o mouse seguindo seu contorno, e finalmente os polígonos, traçando várias retas consecutivas até o retorno ao ponto inicial.

- Procedimento automático ou semi-automático, através da utilização de scanners, sensores óticos , tipo laser, com câmara de lentes de alta resolução que registram as informações contidas nos mapas analógicos em arquivos digitais com formato raster. Necessário lembrar que mesmo utilizando-se o melhor scanner disponível e o mais atualizado programa vetorizador, a imagem resultante e o produto final podem conter imperfeições devido a inúmeros fatores, desde defeitos de dobras e sujeiras no mapa original até falhas de dados espúrios em que, por exemplo, textos venham acidentalmente serem considerados com linhas, etc.

É importante, pois, destacar que, embora os procedimentos automáticos e semi-automáticos levem tempo consideravelmente reduzido em relação ao processo manual (de 2 a 7 vezes mais rápido, Oeepe, 1984), eles dependem fundamentalmente dos mapas originais. Mapas dobrados, emendados, antigos, e cópias mal-feitas podem inviabilizar a adoção dessas técnicas.

Erros operacionais

A todo processo de digitalização associam-se erros operacionais que devem ser quantificados, devendo estar dentro de intervalos admitidos como compatíveis com a escala do mapa utilizado. Durante o processo de captura de dados, numerosos erros podem ser encontrados, sendo o erro total o somatório de vários erros que pode ser expresso pela seguinte equação[15]:

$$\boxed{\text{ERRO TOTAL} = f(a) + f(m) + f(c) + f(d) + f(e) + f(p) + f(\text{RMS}) + f(\text{pe}) + f(\text{id}) + f(\text{at}) + f(\text{hi}) + I}$$

Onde cada um dos termos é função de:

- $f(a)$ → transformação da superfície esférica da Terra em superfície plana;
- $f(m)$ → precisão da medida localizada na Terra !(projeção cartográfica e *datum*);
- $f(c)$ → interpretação cartográfica;
- $f(d)$ → erro do desenho devido ao tamanho das linhas;
- $f(e)$ → estabilidade do material (dobras, emendas, etc);
- $f(p)$ → erro no processo de digitalização;

- $f(\text{RMS}) \rightarrow$ precisão do erro médio quadrático;
- $f(\text{pe}) \rightarrow$ precisão do equipamento (armazenamento de dados, número de dígitos);
- $f(\text{id}) \rightarrow$ idade do mapa;
- $f(\text{at}) \rightarrow$ descrição dos atributos ligados aos dados espaciais;
- $f(\text{hi}) \rightarrow$ dados históricos do mapa;
- $I \rightarrow$ erros adicionais não explicados.

Obviamente essa é uma formulação teórica, mas pode-se perceber a quantidade de variáveis envolvidas com os erros associados ao processo de captura de dados.

3.8 – Manipulação e Análise

As funções de manipulação e análise de dados geográficos dependem do tipo de dado tratado. Basicamente, são essas as principais funções desempenhadas por um SIG: Análise Geográfica, Processamento de Imagens, Modelagem de Terreno, Redes, Geodésia e Fotogrametria. Por envolver dados temáticos, esse trabalho desempenha fundamentalmente a função de Análise Geográfica. Essa função permite a combinação de informações temáticas, podendo ser realizada tanto no domínio vetorial quanto no domínio matricial. Um conjunto importante de procedimentos de análise geográfica foi definido por Tomlin (1990), denominado de “Álgebra de Mapas”.

3.8.1– Álgebra de mapas

A *álgebra de mapas* ou *álgebra de campos* pode ser vista como uma extensão da álgebra tradicional, onde as variáveis manipuladas são campos geográficos (Berry,1993). Seus operadores manipulam um, dois ou mais geo-campos (distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica), sendo que cada geo-campo descreve um atributo diferente ou um mesmo atributo com datas de aquisição diferentes.

Baseando-se na forma como os valores dos atributos nos geo-campos origem são obtidos para processamento, as operações sobre mapas podem ser classificadas, como: *pontuais*, *zonais* e de *vizinhança* (Tomlin,1990). Concentrar-se-á na descrição das operações pontuais, que são aquelas desenvolvidas neste trabalho.

3.8.1.1– Operações Pontuais

Nas operações pontuais, o valor atribuído a uma determinada posição geográfica do geo-campo *destino* é função dos valores na mesma posição geográfica nos geo-campos *origem*. Ou seja, não há influência dos valores dos atributos das posições vizinhas no geo-campo origem sobre o resultado atribuído à mesma posição geográfica do geo-campo destino. Cada posição da região geográfica de estudo pode estar associada a um ou mais valores de atributos, sendo que cada atributo vem de geo-campos diferentes (Cláudio Barbosa, 1997).

As transformações pontuais que existem são as seguintes:

- Reclassificação;
- Ponderação;
- Fatiamento;
- Combinação Booleana;
- Operações Matemáticas.

Reclassificação

A função de reclassificação permite a produção de informações especializadas de acordo com o interesse de cada usuário. Ela não implica numa simplificação na manipulação dos dados, mas sim, na utilização otimizada dos dados espaciais contidos em um determinado banco de dados, para atingir objetivos bem definidos. Como exemplo, tem-se um mapa que apresenta variações de cobertura vegetal, possuindo as seguintes categorias: 1 (cultura agrícola), 2 (floresta decídua), 3 (solo exposto), 4 (pasto), 5 (coníferas), 6 (área de reflorestamento). Se o objetivo do usuário é a delimitação das áreas a serem destinadas à preservação de florestas, as áreas 2, 5 e 6 seriam as consideradas. As demais não. A reclassificação, portanto resolveria o problema simplesmente criando novas categorias: A (áreas de preservação: 2,5 e 6), B (áreas sem destino à preservação: 1,3 e 4).

Ponderação

Transforma um geo-campo temático em um geo-campo numérico. Isso implica na atribuição de pesos para as diversas classes de um atributo, por exemplo, tipos de solo. Geralmente este operador é usado para integrar dados temáticos para uma manipulação posterior.

Fatiamento

Divide a faixa de valores de um geo-campo origem em certo número de intervalos de valores e gera um geo-campo destino. O operador de fatiamento tem como parâmetro de entrada um geo-campo numérico. O mapa resultante pode ser numérico ou temático. Para fins ilustrativos, tem-se como exemplo uma operação de fatiamento que transforma um geo-campo numérico de declividade em um geo-campo temático de classes de declividade. Os intervalos em graus, usado pela operação são: { (0° -9°) → "baixa"; (10° - 19°)→"média"; (acima de 20°) → "alta"}.

Combinações Booleanas

A lógica booleana baseia-se em estabelecer limites determinados a partir de considerações falsas - atributos 0 (zero), e verdadeiras - atributos 1 (um). Para alcançar objetivos, a análise booleana se utiliza dos seguintes operadores: <NOT>, <AND>, <OR> e <NOR>.

A lógica booleana é extensivamente usada em SIGs, pois permite analisar rapidamente áreas, através de uma combinação lógica diretamente análoga ao tradicional método de sobreposição empregado nas mesas de luz.

Operações Matemáticas

As operações matemáticas em SIG compreendem:

- Operações Aritméticas: soma, subtração, multiplicação, divisão, médias. A média simples gera um geo-campo destino onde o valor resultante em cada posição geográfica é a média aritmética dos valores dos atributos na mesma posição geográfica dos geo-campos origem. Se necessário o valor do atributo em cada geo-campo pode ser ponderado por um peso (média ponderada). Nas operações matemáticas, tanto os geo-campos origens quanto o geo-campo destino devem ser numéricos.

- funções matemáticas: seno, cosseno , tangente , arco tangente, logaritmo, exponencial, raiz quadrada;

- relações: menor que ($<$), maior que ($>$), menor ou igual ($<=$), maior ou igual ($>=$), igual ($=$), diferente().

A teoria que envolve os fundamentos de um Sistema de Informações Geográficas é muito mais extensa e complexa do que o que foi abordado nesse capítulo. O que está apresentado aqui, no entanto, é suficiente para o embasamento teórico e a compreensão do desenvolvimento do trabalho em questão.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1 Introdução

Sabe-se que, para o reconhecimento da plataforma genética de uma região, são necessárias as cartas geológica, pedológica e geomorfológica dessa região. Para a validação da ferramenta de geoprocessamento, para essa finalidade, é necessário que se proceda todos os passos de manipulação desses mapas dentro de um SIG.

É importante lembrar que a avaliação dessa ferramenta não requer e nem deve requerer a determinação de uma localidade específica, já que a mesma deve produzir resultados consistentes para qualquer região cuja gênese venha a ser estudada sob a condição de implantação de uma obra aeroportuária, ou mesmo de um aeroporto já estabelecido em dada região.

O primeiro passo foi, então, a aquisição desses três mapas de uma mesma região. Esse capítulo mostra todos os procedimentos realizados posteriormente, ficando claro que essa seqüência está intimamente ligada ao tipo de mapas que se usa como dado de entrada. Estão aqui discriminadas duas experiências, que implicam em dois conjuntos de mapas distintos.

4.2. Primeira Experiência

4.2.1. Descrição

Em primeiro plano, optou-se por trabalhar com os mesmos mapas utilizados no exercício de sobreposição da disciplina de Geologia de Engenharia. Essa decisão foi tomada com o intuito de estudar a viabilidade de se manter essa mesma fonte de dados no SIG, averiguando, também, a necessidade de busca por outras fontes.

Esses mapas encontram-se disponíveis em papel, na escala de 1:1.000.000, e estão na *Projeção Cônica Conforme de Lambert*. São fruto do mais minucioso levantamento aéreo feito no Brasil, iniciado com o Projeto RADAM (Radar da Amazônia) em 1970, e estendido por todo o Brasil (RADAM BRASIL) até 1985, a um custo de 200 milhões de dólares. Com ele, pode-se conhecer o Brasil em detalhes, em termos de relevo, vegetação, geologia, solos existentes, etc.

Escolheu-se, então, a região de Araguaia/ Tocantins (Folhas SB/SC 22) pela facilidade de dois dos mapas já terem sido submetidos à primeira etapa do processo, o *escaneamento*, melhor descrito posteriormente. Outro motivo pela qual foi procedida tal escolha, é o fato de essa região possuir características geológicas interessantes de serem avaliadas. Há, por exemplo, tanto a ocorrência de solos como o *latossolo-vermelho-amarelo*, de boa capacidade de suporte, e compactação, ideais, portanto, à uma obra aeroportuária, como de solos impróprios, caso dos *solos hidromórficos gleysados*. Enfim, a abrangência de diversas classes de um mesmo atributo permite uma avaliação mais rica da ferramenta em estudo.

4.2.2. Procedimentos

Para que seja possível a manipulação das informações inerentes a um mapa num Sistema de Informação Geográfica, é preciso, primeiramente, inseri-las no sistema, ou seja, transformar todos os dados espaciais em formato digital. Essa etapa de entrada ou captura de dados espaciais requer cuidados especiais. Esse fato fica perceptível à medida que as fases dessa primeira etapa vão sendo cumpridas, de modo que, a certa altura, fica decidida a abortagem da primeira experiência. É de suma relevância, no entanto, sua explicitação nesse trabalho, como forma de comprovação da necessidade de cuidados extras no momento da inserção de dados no SIG. Prossegue-se, então, a descrição de todos os procedimentos cumpridos com essa fonte de dados.

Por se tratar de mapas em papel, foi necessário começar pela escanerização desses mapas de forma que sua imagem fosse inserida no sistema computacional. As medidas posteriores visam organizar o banco de dados que começou então a ser criado. Os fluxogramas abaixo ilustram essa seqüência. O primeiro mostra uma visão global do processo. O segundo detalha a etapa de captura de dados, mostrando quais são os procedimentos necessários quando a base de dados se trata de mapas em papel. Posteriormente, quando relatada a segunda experiência, é possível notar que grande parte desse trabalho é eliminada quando se tem em mãos dados já digitalizados.

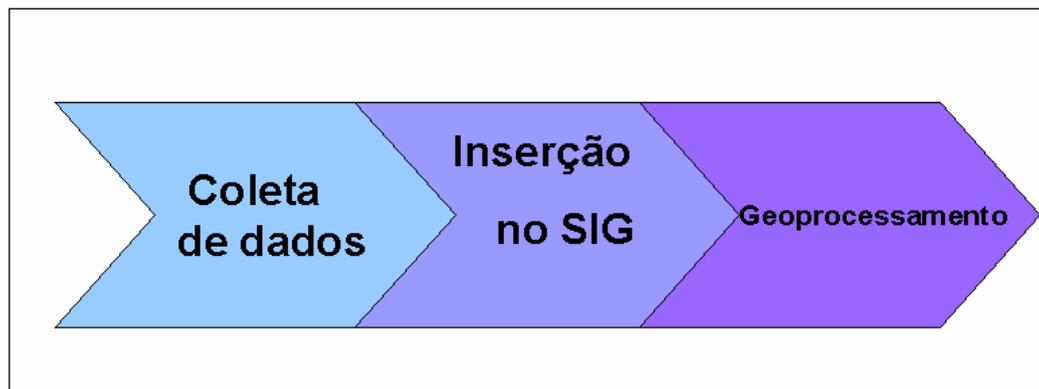


Figura 12. Seqüência básica

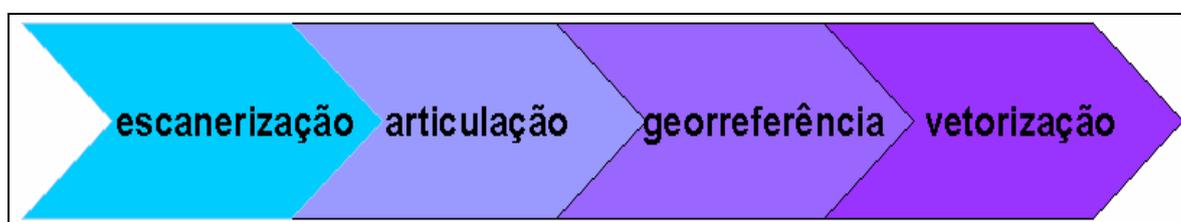


Figura 13. Etapas realizadas na primeira experiência

4.2.2.1. Escanerização

Como já mencionado, a escanerização foi procedida com apenas um dos mapas, visto que os outros dois já estavam inseridos em sistema computacional, pois já haviam sido escaneados para atividade dos alunos na disciplina de GEO 43 – Geoprocessamento. O mapa geológico da região de Araguaia/Tocantins, concedido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), de formato A0, foi submetido à operação do scanner de mesa do laboratório de Geomática da Divisão de Infra-estrutura.

Foi necessário, então, escanear o mapa em etapas, pois a scanner de mesa processa uma imagem de formato A4 por vez. Esse processo foi repetido nove vezes, gerando, por conseguinte, nove mosaicos, que juntos formam o mapa de geologia na íntegra. Para que isso fosse possível, entretanto, o mapa precisou ser dobrado e desdobrado várias vezes e em vários pontos distintos.

O problema das dobras, as distorções principalmente das informações contidas nas bordas do mapa, vão imprimindo erros e imperfeições nas imagens produzidas pelo scanner. A figura 14 mostra o detalhe de um dos mosaicos onde fica nítida a presença

dessas imperfeições. Na figura a dobra é extremamente perceptível. As bordas possuem coloração destoante e distorções mais acentuadas. Isso acaba sendo inevitável quando os mosaicos são produzidos em scanners de mesa, e não scanner do tipo tambor, ideal para essas circunstâncias, porque o mapa nunca fica 100% em contato com a superfície do scanner, principalmente as bordas.

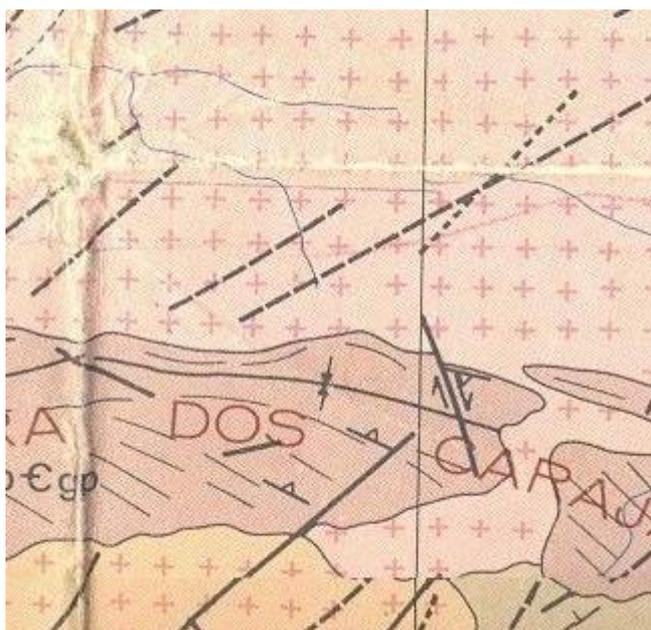


Figura 14. Detalhe de imperfeições de dobra do mapa

Foram, então, produzidos os nove mosaicos, que implicam em imagens, visualizáveis na maioria dos softwares processadores de imagens. Cada mosaico centraliza uma área diferente do mapa geológico, mas com a preocupação de que contivessem, também, regiões comuns aos mosaicos adjacentes. Quando se comenta que são necessários o cuidado e atenção no processo de captura de dados, essa preocupação configura um bom exemplo. Uma falha nessa etapa é, porém, sentida somente na fase posterior, que é a junção desses mosaicos.

4.2.2.2. Articulação dos mosaicos

Após a escanerização dos mosaicos foi necessário uni-los para que formassem o mapa como um todo. Esse processo é chamado de articulação de mosaicos. Para isso, foi usado o programa *Regeemy*, disponível nos computadores do laboratório de Geomática por

ser um programa simples, de fácil manuseio, e que produz bons resultados em comparação com programas que executam a mesma função.

Ele funciona da seguinte maneira: escolhem-se duas imagens as quais se queira unir. Depois se seleciona o tipo de interpolação, usando a delimitação de áreas retangulares em ambos os mosaicos onde provavelmente se encontra a maior parte da área de intersecção, e definem-se alguns parâmetros. O programa automaticamente *identifica pontos em comum* que servem como referência para articulação. Ao gerar esses pontos, uma janela é aberta, apresentando a avaliação dos resultados. Nela, os pontos são identificados, e aparece uma mensagem indicando a qualidade do resultado.

Respostas do tipo *bad fit*, foram, então descartadas, e o processo é repetido variando-se alguns parâmetros até que se produzisse um número expressivo de pontos em relação à área de intersecção, e até que fosse gerada a resposta do tipo *excellent fit*. A Figura 15 exhibe as telas de execução desse programa.

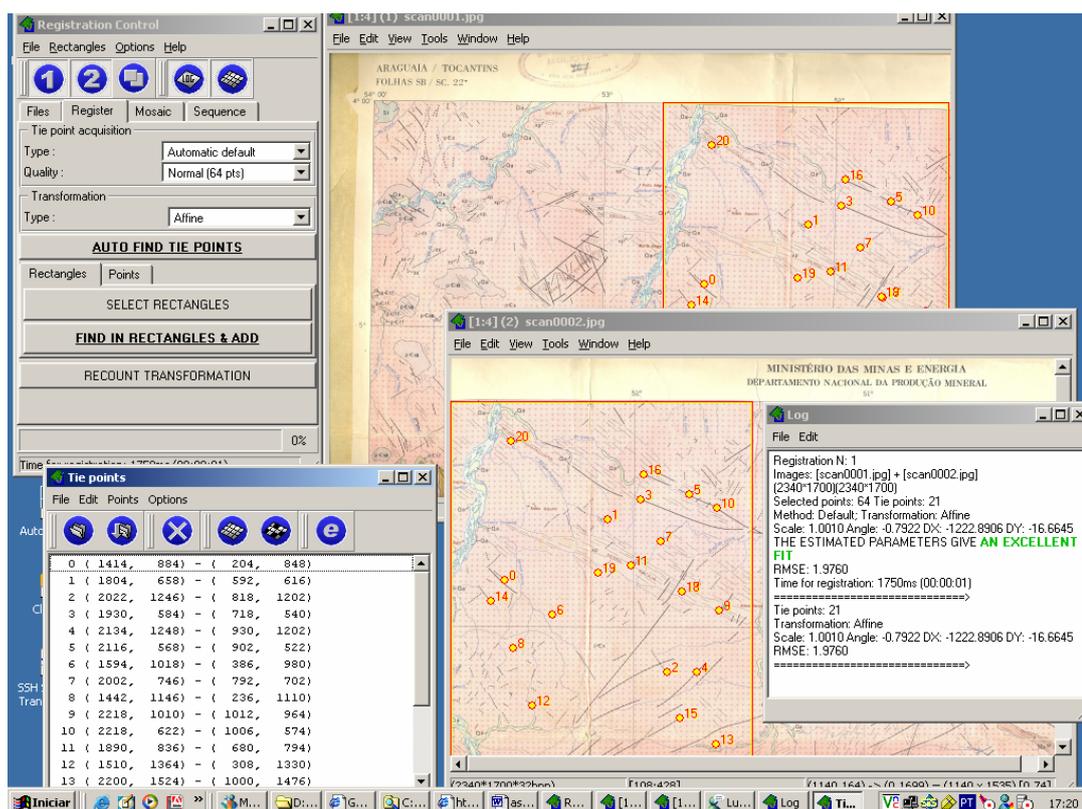


Figura 15. Telas de execução do programa Regemmy

Permite-se, então, a geração do mosaico articulado, que é salvo no mesmo formato que seus mosaicos de origem. Obviamente mais erros foram inseridos nesse processo, visto que a articulação não é perfeita e sofre conseqüências dos erros anteriores, havendo assim, uma propagação de erros. As evidências se encontram em linhas descontínuas e figuras disformes geradas na área de intersecção. A Figura 16 mostra um dos mosaicos articulados e a Figura >>> mostra um zoom do mesmo, evidenciando imperfeições de articulação.

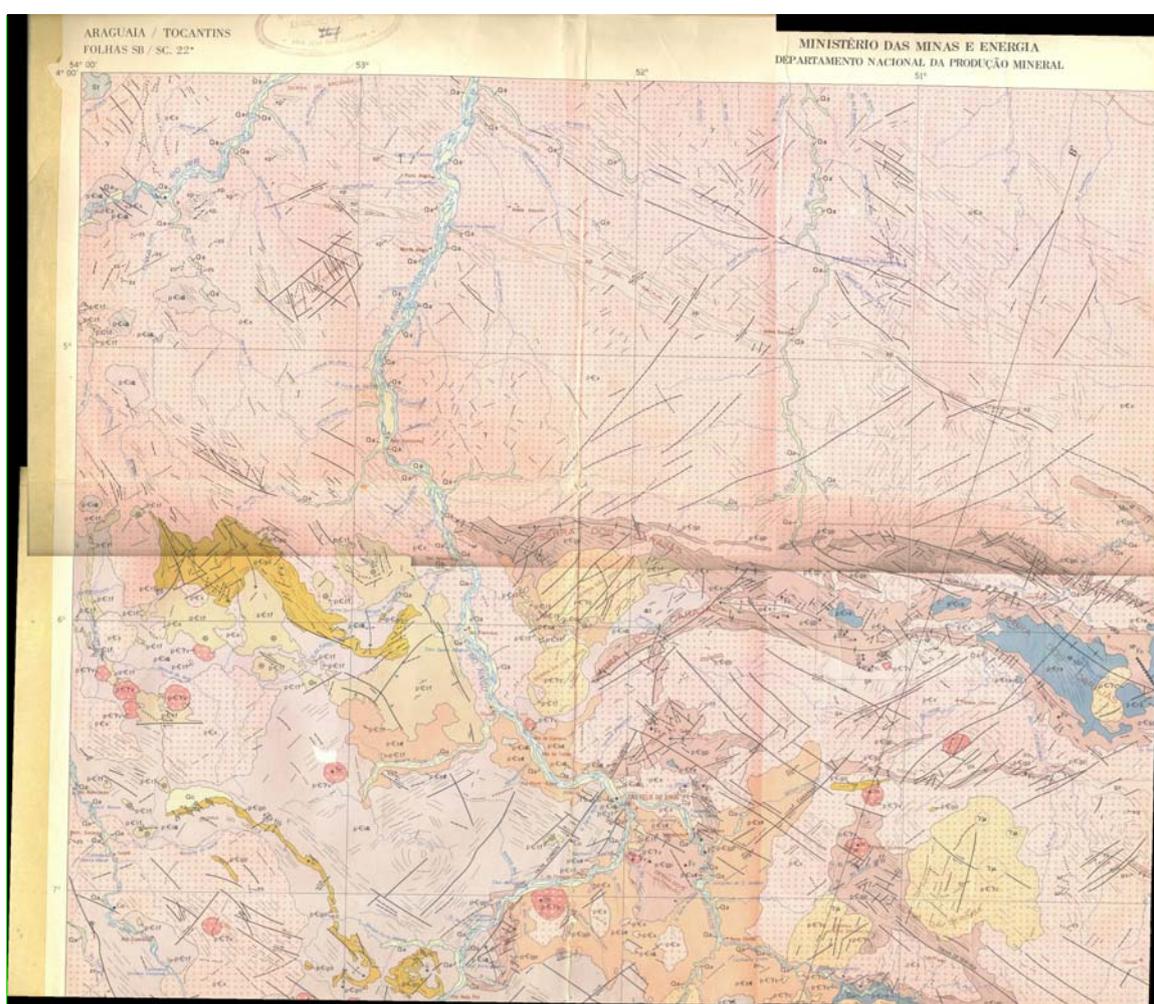


Figura 16. Produto da articulação de quatro mosaicos

Procedeu-se a junção de todos os mosaicos, dois a dois, de forma que as últimas junções eram junções de mosaicos articulados, e chegou-se a um único mosaico que forma o mapa de geologia. Essa fase levou cerca de duas horas para ser finalizada, já que o processo teve de ser interrompido e repetido para alguns mosaicos que tinham sido

escaneados sem a preocupação de possuírem áreas de intersecção. Com o cumprimento dessa etapa, a carta geológica está inserida no sistema computacional, pronta para ser submetida á próxima etapa.

4.2.2.3. Georreferenciamento

O mapa, que até então implica numa simples imagem, precisa ser georreferenciado. Nesse processo, ele é fixado num determinado sistema de coordenadas, caracterizando os pontos na superfície terrestre. Para isso, foi usado o programa *ERDAS* por ser de fácil manipulação e eficiente para essa finalidade.

Inseriu-se o mosaico final com a extensão *JFIF* no *ERDAS*. Escolheu-se a função *Geometric Correction* e prosseguiu-se uma seqüência de fixação de parâmetros. Geometric Model → Polynomial; tipo de projeção → Geográfica (Latitude/ Longitude), spheroid name: South American 1969; datum name: SAD 69, unidade: graus. Com isso, foi garantido o sistema de coordenadas.

O passo seguinte foi o referenciamento manual ponto-a-ponto. Cada ponto cuja latitude e longitude são caracterizadas no mapa, foram identificados. Esse processo foi simples: selecionou-se o ponto de interesse com um apontador do sistema, e digitou-se suas coordenadas.

O sistema realizou operações internas que foram distorcendo e adaptando a figura ao seu sistema de coordenadas. Terminada a identificação dos pontos, está então, concluído o georreferenciamento do mapa. Essa etapa levou cerca de uma hora para ser efetivada, após uma certa familiarização com a ferramenta. A partir de então, como os três mapas estavam corretamente georreferenciados era possível inseri-los num SIG e sobrepô-los.

4.2.2.4. Vetorização

Os mapas geomorfológico e pedológico já haviam sido trabalhados até esta etapa. A fase de vetorização era necessária, então, para os três mapas. O processo de vetorização implica em ir delimitando, com o uso do mouse, os diversos polígonos que dão forma ao atributo do mapa. Como já mencionado em capítulo anterior, esse exercício pode ser manual, automático, ou semi-automático. A primeira opção foi adotar o processo semi-automático, em detrimento da outra opção que seria a manual, muito mais demorada.

Obviamente foi necessário trabalhar com um mapa de cada vez. O mapa geológico foi o escolhido para início do processo. Para isso, o mapa foi importado para um software de vetorização automática, *R2V for Windows*. Manuseando o mapa em preto e branco e variando os níveis de cinza, a função semi-automática ficava habilitada. Começou-se, assim, a delimitar com clicks no mouse, as linhas que delimitam os polígonos. O programa na seleção semi-automática indicava, ao conseguir identificar, a continuação da linha que estava sendo delimitada. Evidentemente a indicação e o *fit* da linha indicada dependeu da qualidade da escanerização e da nitidez conseguida com os tons de cinza.

Após algumas horas de trabalho, resolveu-se testar a importação do arquivo que vinha sendo produzido para um dos SIGs que seriam usados posteriormente, o *ArcMap*. Surgiu, assim, um problema que inviabilizou o prosseguimento com a vetorização semi-automática, porque a importação não foi efetivada, e não se conseguiu abrir o arquivo no *ArcMap*, mesmo perante várias tentativas de se corrigir tal erro.

Infelizmente, teve-se de parar esse processo e decidir pela vetorização automática, que foi executada no próprio *ArcMap*, não gerando, portanto, problemas como o enfrentado até então. A diferença entre o processo manual e o semi-automático é que o programa não indicava uma continuidade da linha. Cada segmento, cada ponto do polígono era determinado através de um clique no mouse. Pode-se, portanto, imaginar o quão laborioso e lento é esse trabalho. Para se ter uma idéia, a estimativa de tempo para a sua finalização, é de 3 a 4 dias de labor ininterrupto, apenas para um dos mapas. Sem contar a fadiga e dor muscular inevitavelmente adquiridas pela infinidade de cliques no mouse, que acabam influenciando na qualidade e rapidez de execução.

Percebe-se, no entanto, quanto trabalho ainda havia a frente. É importante também citar que o cumprimento de mais uma etapa implicou num acréscimo de erros e imperfeições no mapa que vinha sendo produzido. Por mais cuidado e perfeição que se buscasse durante a vetorização, é impossível 100% de coincidência entre as linhas geradas e as linhas do mapa.

Como descrito no Capítulo III, a captura de dados gera erros que dependem de inúmeros parâmetros. Para se ter uma idéia do significado de um erro no mapa de Geomorfologia, por exemplo, cuja escala é de 1: 1.000.000, o menor erro perceptível ao olho humano no mapa, aproximadamente 0.002mm, significa um erro de 200m no mundo real.

Devido ao tempo que seria gasto na vetorização dos três mapas e da propagação de erros adquirida em todo o processo, resultando assim, num conjunto de dados com qualidade questionável, uma importante decisão foi tomada: foi abortado o processamento das imagens fruto do conjunto de mapas em papel da região de Araguaia/Tocantins. Apesar de todo esforço e tempo investidos, concluiu-se como mais sensato investir na tentativa de se adquirir os mapas de interesse geotécnico em forma digitalizada.

Todo esse exercício ao qual foi submetido esse conjunto de mapas em papel, porém, de maneira alguma pode ser desconsiderado, pois as informações obtidas com essa experiência são de grande relevância, servindo principalmente de relato quanto aos entraves, erros e dificuldades encontrados ao longo do processo de captura desses dados.

4.3. Segunda Experiência

4.3.1. Descrição

A segunda experiência tem como fonte de dados as cartas geológica, pedológica e geomorfológica da região de Belém-PA. Essas cartas foram disponibilizadas pelo IBGE, através de pedido direto ao Departamento de Recursos Naturais. Para se chegar ao responsável que teria permissão de dispor esses dados, consultou-se no site do IBGE a existência dos dados que efetivamente se pretendia conseguir: as três cartas que caracterizam a plataforma genética de alguma região do Brasil em formato digitalizado. Seguindo a seqüência no site: Geociências → Cartografia → Produtos → Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais, foi possível detectar a existência dos mapas desejados, sem a disponibilidade, porém, para *download*. Foi preciso, então, entrar em contato com o funcionário responsável, que, em torno de 10 dias, enviou via e-mail os arquivos desejados.

Esses mapas são, como já mencionado, as cartas relativas á região de Belém do Pará (SA.22-X-D). Encontram-se na escala de 1:250.000, projeção UTM, Datum Horizontal SAD 69, em formato digital, extensão **.dgn**. Também foram enviadas as cartas em extensão **.pdf**, que não serviram para o geoprocessamento, mas que facilitaram o trabalho de reconhecimento de classes e visualização dos mapas.

A região de Belém foi escolhida, dentre outros motivos, como já explicado no Capítulo II, pelo fato de haver a disponibilidade das suas cartas, visto que não são todas regiões brasileiras que possuem-nas em formato digital disponível pelo IBGE.

4.3.2. Procedimentos

Como essa nova fonte de dados já se encontrava digitalizada, ou seja, os mapas já estavam inseridos num sistema computacional e totalmente vetorizados, não era necessário proceder todas aquelas etapas às quais as cartas em papel precisaram ser submetidas. Ou seja, grande parte do trabalho, e justamente aquela que levava o tempo mais dispendioso, foi eliminada. O trabalho iniciou-se, assim, na fase imediatamente posterior à vetorização.

O procedimento cumprido foi o seguinte:



Figura 17. Etapas realizadas na segunda experiência

Um mapa digitalizado, daqueles que se tinha em mãos, é um dado em formato vetorial, compreendendo um conjunto de polígonos vizinhos uns aos outros. Esses polígonos, porém, ainda não possuíam nenhuma informação inerente a eles, ou seja, não havia ainda nenhum banco de dados de informações geográficas relacionado ao mapa.

Os mapas foram recebidos da seguinte forma, assim como ilustram as Figuras 18,19 e 20. São dados em formato vetorial onde cada polígono já estava devidamente delimitado.

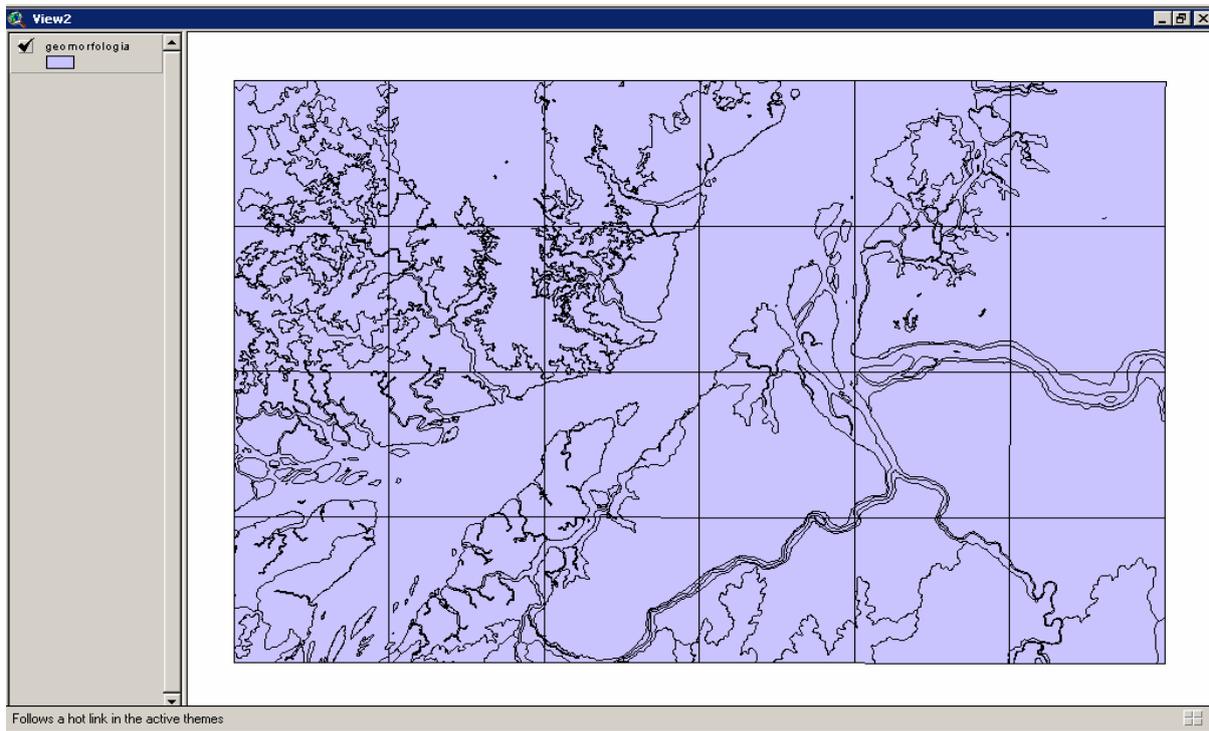


Figura 18. Mapa geomorfológico digitalizado

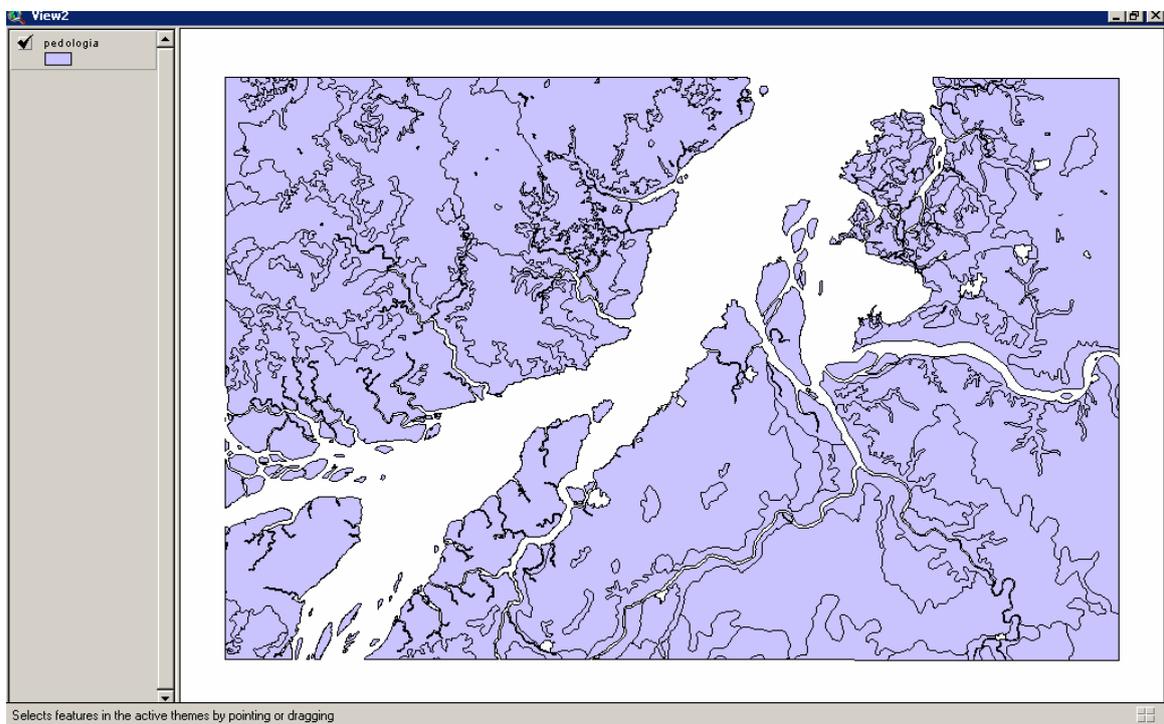


Figura 19. Mapa pedológico digitalizado

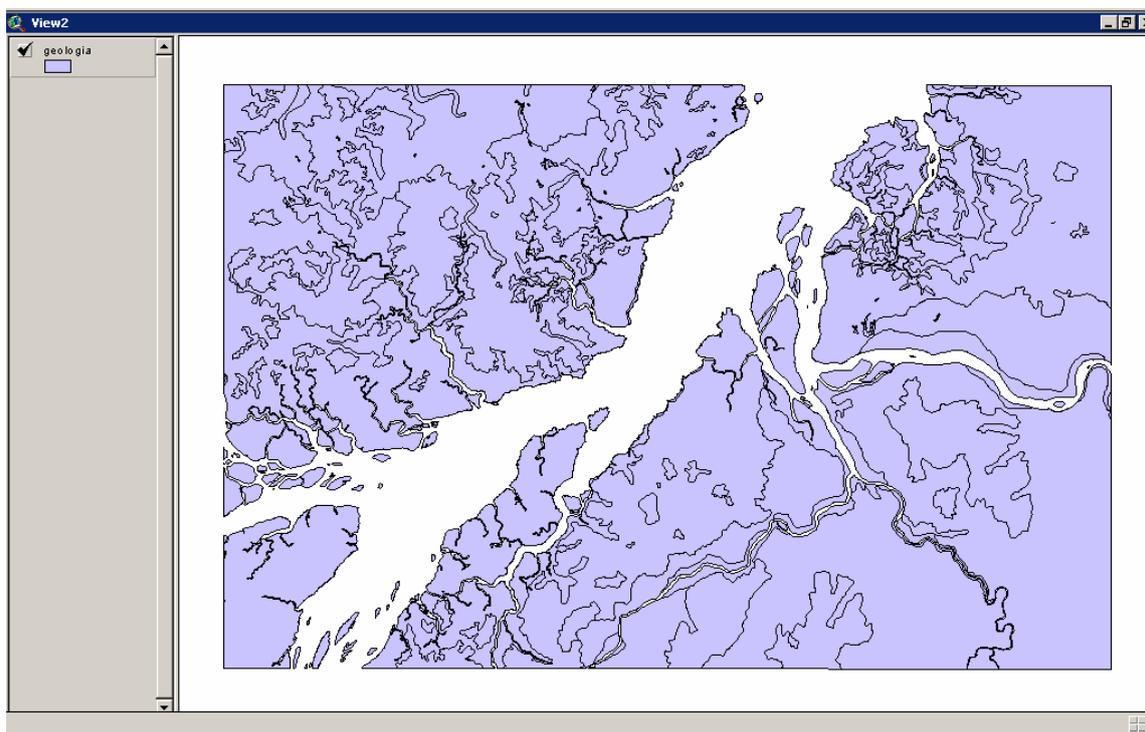


Figura 20. Mapa geológico digitalizado

Nas referidas figuras, tudo que recebe coloração lilás implica em polígonos delimitados. Aquilo que está em branco significa regiões onde não há polígonos, ou seja, região sem dados. Duas observações pertinentes: a primeira é que se pode observar que não há diferenciação alguma entre os polígonos, ou seja, eles ainda não receberam nenhuma classificação; a outra diz respeito a imperfeições inerentes à base de dados, previamente alertada por quem as forneceu. O mapa pedológico possui um defeito aparente de ausência de polígono delimitando as cidades mais importantes da região, principalmente Belém, cuja área é expressivamente maior que as demais. Essas imperfeições, porém, de maneira alguma, impediram o sucesso do referido trabalho. Sob a consideração de que essas áreas compreendem locais altamente ocupados demograficamente, subtede-se que elas não são regiões de interesse ou viabilidade para a implantação de um novo aeroporto.

4.3.2.1. Definição de Atributos

Feitas as considerações anteriores, partiu-se então para a execução da seqüência de etapas que visa o preparo dos dados para a Álgebra de Mapas. O primeiro passo, obviamente, é a atribuição das classes pertencentes a cada polígono. Esse exercício foi executado no software ArcMap, e com o auxílio visual da layer que se sobrepõe ao mapa

(dado pertencente ao conjunto de arquivos de extensão .dgn), que indica, sobre cada polígono, sua classe específica. Não houve problema algum na execução dos arquivos .dgn no referido programa. Eles se encontram, a partir de então, porém, em formato *shapefile*, típico dos SIGs que foram utilizados.

O procedimento foi o seguinte: habilitou-se *o start editing* do programa; tornou-se visível a tabela de atributos daquele *layer* onde se encontram todos os polígonos; selecionou-se o apontador do programa, e ele tornou ativo o polígono que se desejava; digitou-se na tabela de descrição do polígono, no campo *text*, a referida classe do polígono. Por exemplo, leu-se sobre certo polígono no mapa de pedologia que sua descrição informava a classe **la**, ou seja, segundo a legenda, solo laterítico. Foi então digitado no campo *text* o código **la**.

Essa simples seqüência teve de ser repetida polígono a polígono, mapa a mapa. À medida em que os mesmos iam recebendo classificação, eles começavam a se distinguir uns dos outros, pelo fato de haver se atribuído informação ao banco de dados geográfico.

Para se ter uma idéia quantitativa da operação, só o mapa de geologia possui 309 polígonos, o de pedologia, 358, e o de geomorfologia, 546. Essa destoaância deste último em relação aos demais se explica pelo simples fato de ser quadriculado (dividido em 24 quadros).

Ao fim dessa etapa, cada mapa possui seus polígonos discriminados.

4.3.2.2. Reclassificação

A reclassificação é uma função que pode ser procedida em diversas etapas do geoprocessamento, desde que se faça necessário. Ela basicamente implica em atribuir novas classes àquelas pré-existentes, apenas com a finalidade de poder se escolher um modo mais didático de visualização ou facilitar na álgebra de mapas mais à frente. A partir desse ponto, todo o trabalho passou a ser desenvolvido no software ArcView.

Com esse procedimento, o intuito foi reagrupar as diversas classes em conjuntos mais compactos. Para ficar claro, a Tabela 3 mostra as diversas classes atribuídas ao mapa geomorfologia, e a reclassificação feita.

Tabela 3. Classes do mapa geomorfológico

Classes 1	Reclassificação
Água	água
151af	151
151aptf	
294aptf	294
294af	
350pri	350
350ai1	
356ai1	356
359dt21	359
359dt31	
379afm	379
379af	
380atfm1	380
380atf11	
380afm	
380af	

As extensões em forma de texto, tipo **aptfm**, **dt**, **af**, dizem respeito a tipo de modelamentos de acumulação, dissecação, aplainamento, etc. Deve-se atentar para qual nível de discriminação das classes. No caso desse trabalho, é suficiente agrupar as classes de maneira mais geral possível, porque, em termos de caracterização de uma plataforma genética, não há diferenciação entre uma classe do tipo **379afm** (Litoral de mangues e rias-planície fluvial) e **379af** (Litoral de mangues e rias-planície fluviomarinha). Foi exatamente isso o que foi feito. Reagrupou-se as inúmeras classes geomorfológicas em um conjunto mais compacto e interessante de se trabalhar.

O procedimento implicou em:

- habilitar o *start editing* do tema em questão;
- adicionar uma nova coluna, em formato de texto, com o nome *descrição*;
- digitar as novas classes nessa nova coluna.

As Figuras 21,22 e 23 mostram os mapas reclassificados.

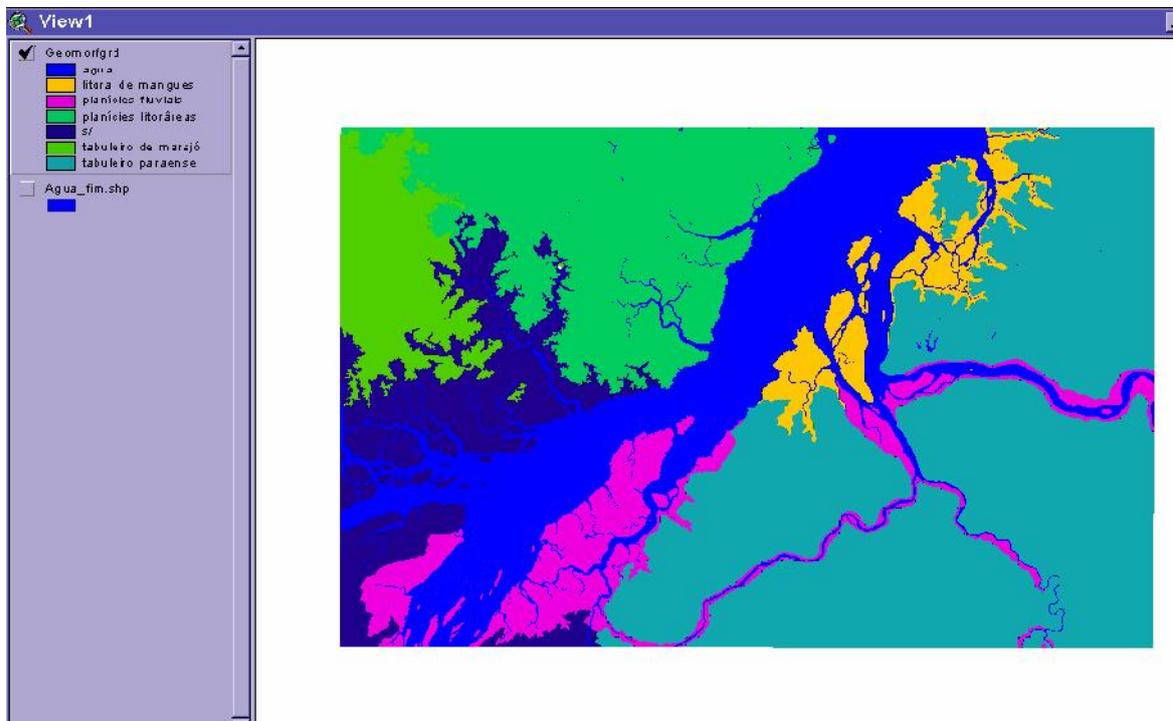


Figura 21. Mapa geomorfológico reclassificado

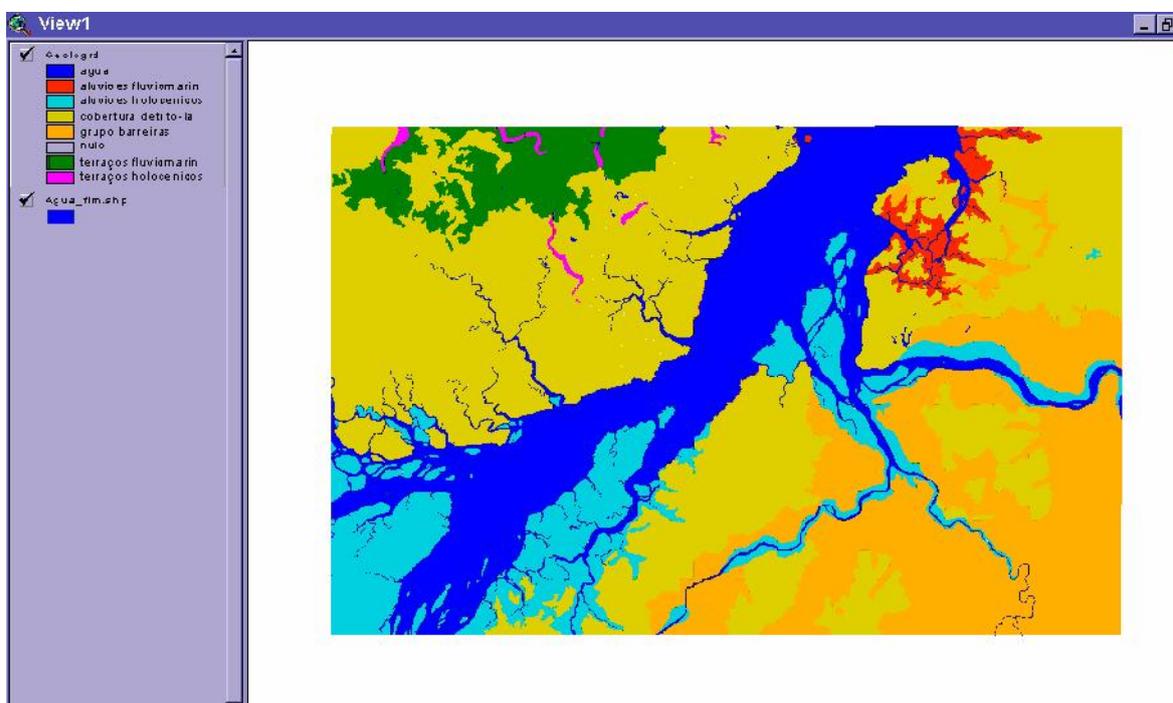


Figura 22. Mapa geológico reclassificado

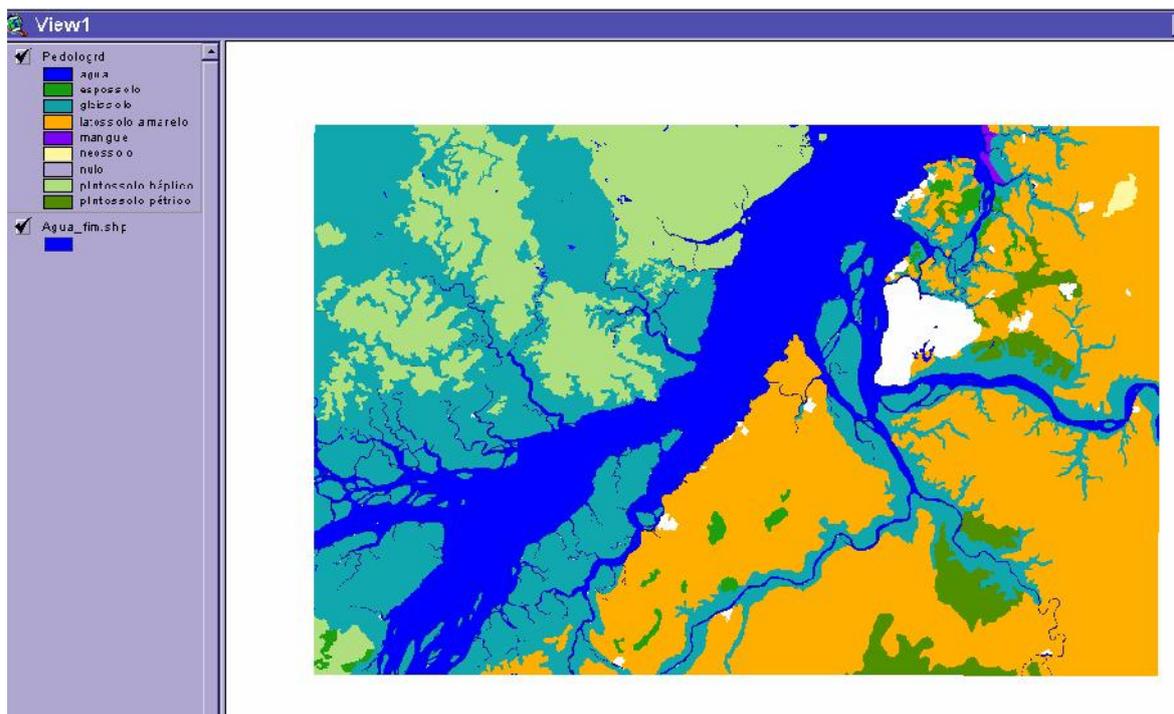


Figura 23. Mapa pedológico reclassificado

4.3.2.3. Conversão de vetor para grid

Até aqui, os dados foram trabalhados sob a forma de vetor. Esse formato é mais indicado para os processos até então executados. A partir daqui, porém, começou-se a preparar os mapas para a Álgebra de mapas, porque para essa finalidade, os mapas devem estar em forma de grid, ou matricial.

Esse processo é simples e rápido. Bastou apenas selecionar *Theme* → *Convert to grid* para cada um dos três mapas. Foram, então, criados novos temas, iguais aos anteriores, porém com formato diferente, agora em forma matricial.

4.3.2.4. Atribuição de Pesos

Exatamente como na Reclassificação, nesta etapa criou-se uma nova coluna na tabela de atributos do tema, chamada *Ponderação*. Esse procedimento tem como intuito estabelecer uma comparação quantitativa entre as classes de um mesmo atributo.

Antes disso, foi necessário inserir um método, ou raciocínio comparativo, para que fosse obedecido, assim, um padrão. Não há uma regra a se seguir, nem algum método pré-estabelecido. O que deve, no entanto, se buscar, é o desenvolvimento de um método que

caracterize de forma sensata e coerente aquilo que se deseja ponderar. Estabeleceu-se, então, o seguinte critério de classificação, que caracteriza a aptidão de determinada classe para sua aplicação numa obra geotécnica, segundo a Tabela 4:

Tabela 4. Critério de Ponderação

classificação	peso
muito bom	6
bom	4ou 5
regular	3
ruim	2
péssimo	1
proibido	100

Após inúmeras pesquisas relativas a características geotécnicas das diversas classes geológicas, geomorfológicas e pedológicas da região de Belém, aliado as conhecimentos adquiridos na disciplina de Geologia de Engenharia quanto à caracterização da Gênese, atribuiu-se a seguinte ponderação para cada uma das classes, segundos as Tabelas 5,6 e 7:

Tabela 5. Ponderação das classes geomorfológicas

GEOMORFOLOGIA			
LEGENDA	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO	PONDERAÇÃO
379	litoral de mangues e rias	proibido	100
151 e 350	s/	péssimo	1
294	planícies fluviais	ruim	2
380	planícies litorâneas de marajó	regular	3
356	tabuleiros de marajó	bom	4
359	tabuleiros paraenses	muito bom	6

Tabela 6. Ponderação das classes pedológicas

PEDOLOGIA			
LEGENDA	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO	PONDERAÇÃO
sm	solo indiscriminado de mangue	proibido	100
gx	gleissolo háplico	péssimo (impróprio)	1
ei	espodossolo ferrihumilúvico	ruim	2
rq	neossolo quartzarênico	ruim, mas serve como agregado	3
fx	plintossolo háplico	bom	4
ff	plintossolo pétrico	bom	4
la	latossolo amarelo	muito bom	6

Tabela 7. Ponderação das classes geológicas

GEOLOGIA			
LEGENDA	DESCRIÇÃO	CLASSIFICAÇÃO	PONDERAÇÃO
tnb	grupo barreiras	ruim	1
qhfm	aluviões fluviomarinhas	regular	3
qpdl	cobertura detrito-laterítica pleitocênica	regular	3
qptfm	terraços fluviomarinhas pleitoscênico	regular	3
qha	aluviões holocênicos	bom	4
qht	terraços holocênicos	muito bom	6

Diante dessa tabelas, necessário se faz tecer algumas observações:

- Aquilo que é caracterizado com “**Impróprio**” abrange ou regiões que são preenchidas por “água”, ou aquelas regiões do mapa pedológico que não possuíam polígonos delimitando-nas, ou ainda regiões em que exista proibição ambiental de implantação de uma obra do porte pretendido. Como não são de interesse nos cálculos de Álgebra de Mapas, usou-se esse artifício de se atribuir ponderação de valor 100, que as exclui dos intervalos próprios de classes que não possuem essa restrição;

- O mapa geomorfológico possui duas classes existentes no próprio mapa (**151 e 350**) que não possuem descrição ou título na legenda. Pela Figura 21 é possível identificar as regiões que contém essas classes indeterminadas. Elas foram então definidas como “s/” (sem classe) e estão definidas pela coloração azul marinho. A partir de uma análise da gênese da região, pode-se inferir que esta é uma região provavelmente de planície sujeita a inundações, não sendo, dessa forma, interessante para a implantação de uma obra aeroportuária. Por esse motivo, atribuiu-se a classe “**Péssimo**” a essas classes geomorfológicas;

- As demais atribuições foram, como já mencionado, atribuídas com base nos conhecimentos da Gênese do local. Não devem, no entanto, ser entendidas como precisas e assertivas, já que o intuito do trabalho não é a avaliação específica da região de Belém, mas sim da ferramenta usada.

4.3.2.5. Álgebra de mapas

Depois de atribuída a Ponderação, os mapas podem ser submetidos à Álgebra de Mapas, etapa que efetivamente se pretendia alcançar. Com ela foi possível a geração de mapas de aptidão geotécnica. Antes deles, porém, foram processadas algumas operações com a finalidade de organizar e gerar resultados mais consistentes posteriormente. Primeiramente, trabalhou-se com a *Lógica Booleana*, depois com a *Ponderação Algébrica* (operações de soma, subtração, divisão, etc).

4.3.2.5.1. Lógica Booleana

A Lógica Booleana trabalha, basicamente, com operações de união e intersecção. No ArcView, ela é criada através da seqüência: *Analysis* → *Map Query*.

“União de todas as águas”

A primeira das operações de Lógica Booleana foi a chamada “União de todas as águas”. Pretendeu-se aqui, reunir todas as áreas que eram caracterizadas como água: rios, riachos, lagos, ou seja, todo tipo de água superficial. Foi necessário se proceder dessa forma, porque existem polígonos indicando região de água em determinado mapa que

inexistem nos demais. Foi do mapa geomorfológico, por exemplo, que foi gerado o *shape* do Rio Amazonas. Nos outros dois mapas, sequer o Rio Amazonas encontra-se delimitado com polígono.

A operação processada foi a seguinte:

[pedologia . descricao] = "agua") or ([geologia . descricao] = "agua") or ([Geomorfgrd . Descrição] = "agua")

Que gerou o seguinte mapa, caracterizado na Figura 24:

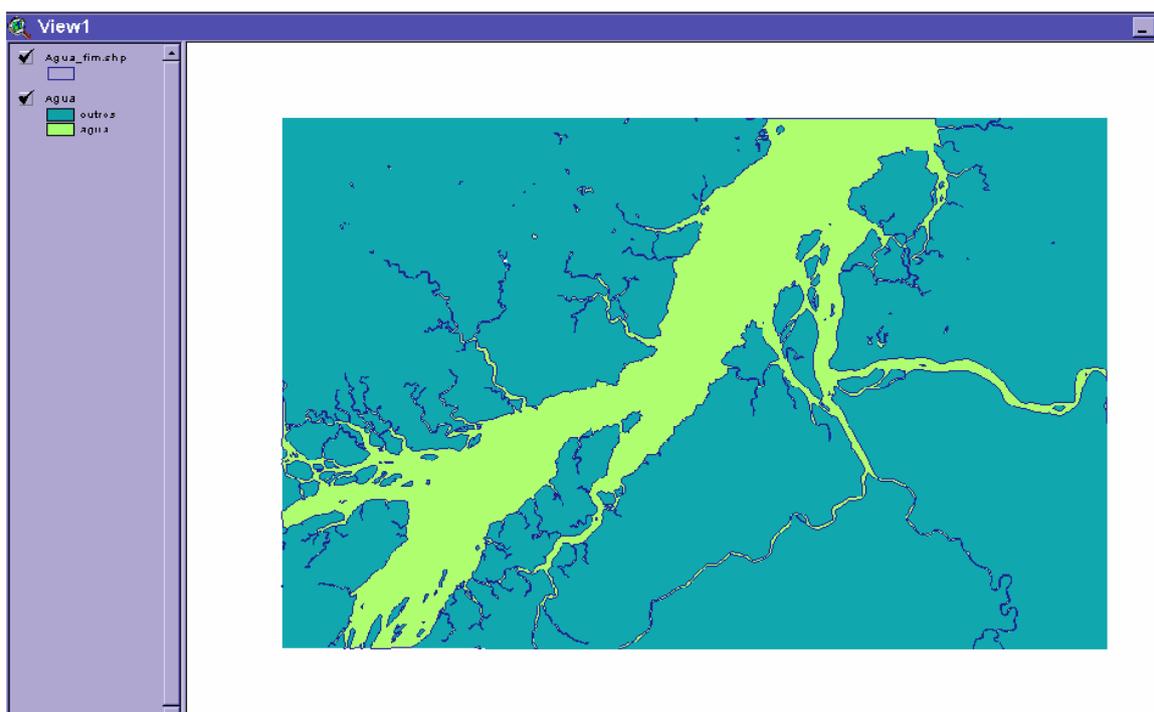


Figura 24. “União de todas as águas”

Regiões Inválidas/ Proibidas

Reuniram-se as regiões onde não é possível (água), ou não é permitida a implantação de um aeroporto. Como comentado na Atribuição de Pesos, todas essas áreas já haviam sido caracterizadas com peso 100. Então, o trabalho foi somente fazer a união de todos eles:

((([Geologrd . Ponderacao] = 100.AsGrid) or ([Geomorfgrd . Ponderacao] = 100.AsGrid) or ([Pedologrd . Ponderacao] = 100.AsGrid))

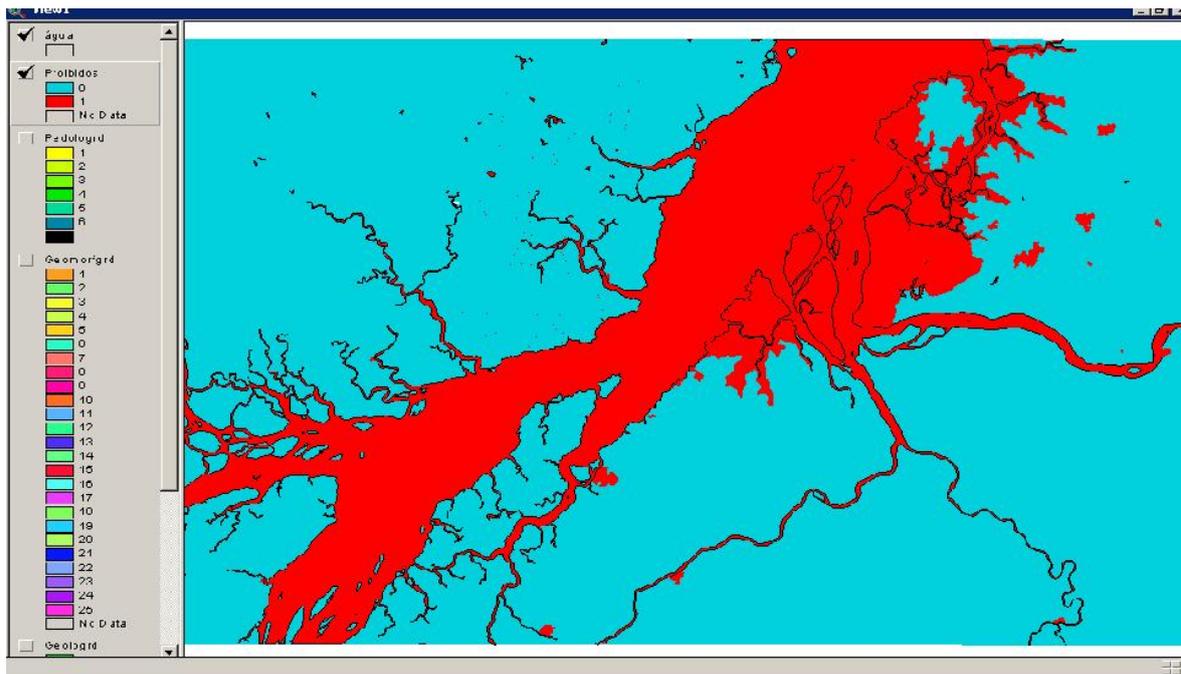


Figura 25. Regiões Inválidas/ Proibidas

A Figura 25 foi o mapa gerado por essa operação. É possível perceber a consistência do resultado, reparando que a região vermelha, caracterizada como Regiões Inválidas/ Proibidas compreende todas as “Águas” (delimitadas pelo polígono gerado a partir da operação anterior, além das regiões impróprias, como a cidade de Belém, e as regiões de mangues).

Áreas com pelo menos uma ponderação igual a 1

Aqui procurou-se reunir as áreas que tem, em pelo menos um dos mapas, uma classificação “Péssima”. A operação para isso foi a seguinte:

$([Geologrd \cdot Ponderacao] = 1.AsGrid) \text{ or } ([Geomorfgrd \cdot Ponderacao] = 1.AsGrid) \text{ or } ([Pedologrd \cdot Ponderacao] = 1.AsGrid)$

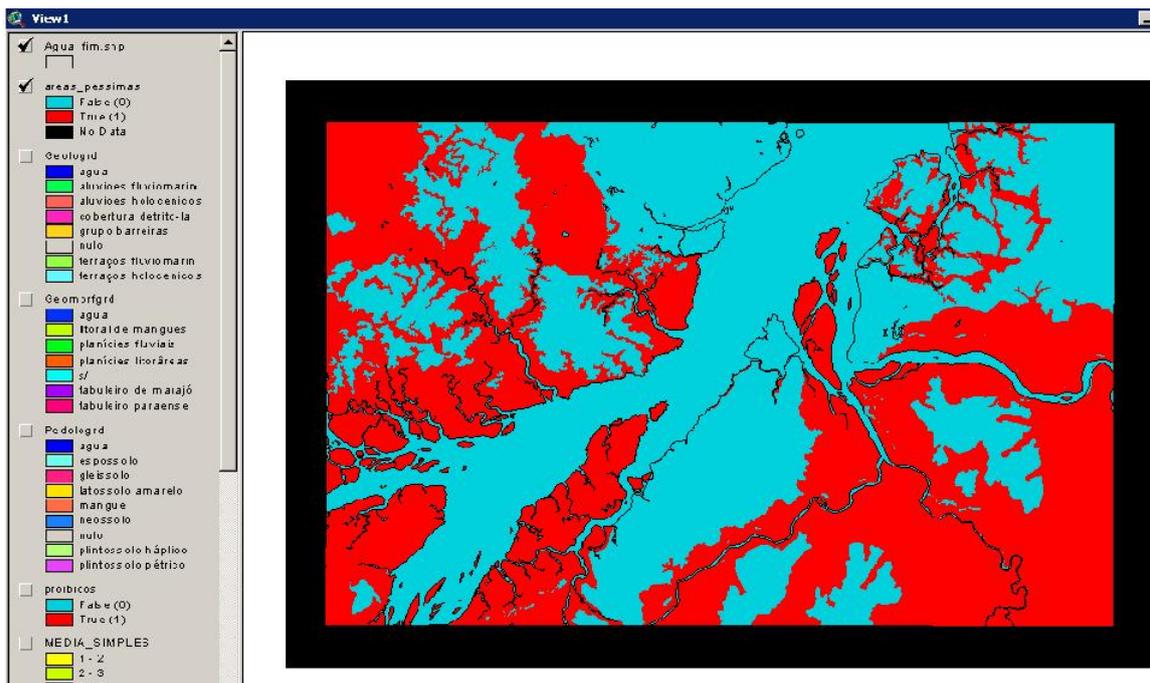


Figura 26. Áreas com pelo menos uma ponderação igual a 1

Percebe-se, com o auxílio da Figura 26, que a região que possui pelo menos um dos atributos “Péssimo”, é de considerável extensão. Toda a região em vermelho, teoricamente possui uma característica geotécnica que inviabilizaria a implantação de uma obra de aeroporto, caso se estabeleça esse critério, como critério de aptidão.

O mapa seguinte apenas reuniu os mapas anteriores, com o shape de áreas Proibidas, com o intuito de se visualizar a ocorrência de áreas Péssimas em regiões Proibidas.

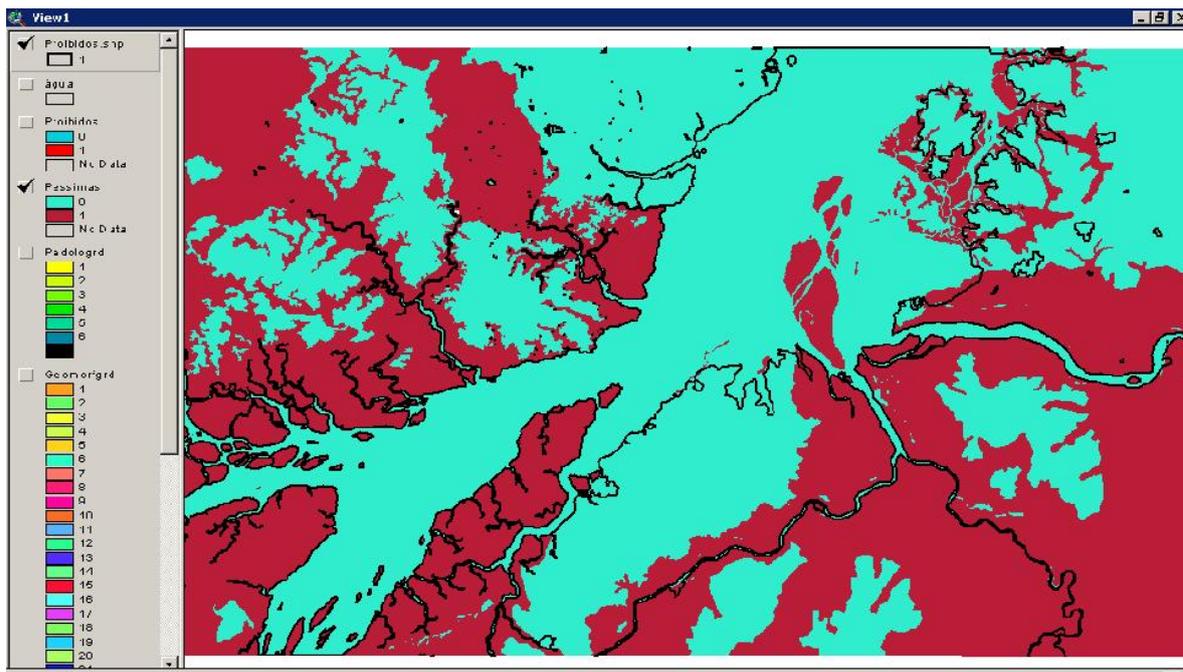


Figura 27. Áreas com pelo menos uma ponderação igual a 1

Péssimas e não-proibidas

Para um resultado mais coerente, relativo á áreas Péssimas, a operação seguinte selecionou as áreas Péssimas, que, porém, não pertenciam a regiões Proibidas. A formulação é a seguinte:

$$([Proibidos] = 0.AsGrid) \text{ and } ([Péssimas] = 1.AsGrid)$$

A Figura 28 é o resultado dessa operação:

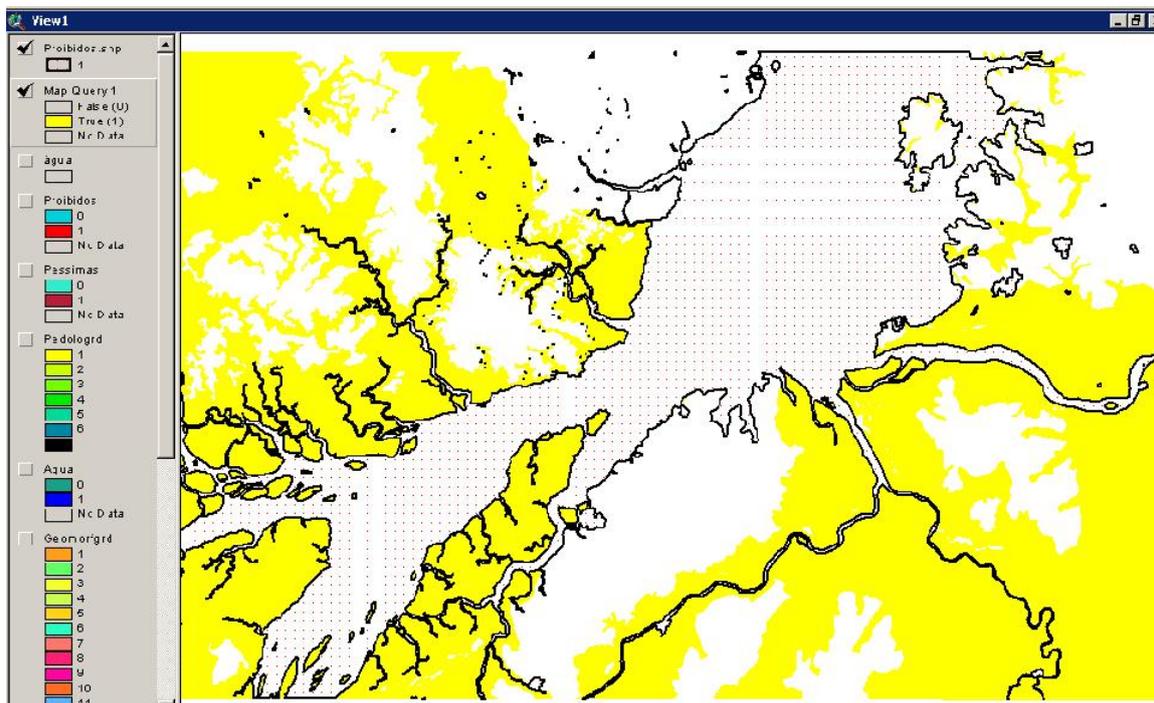


Figura 28. Péssimas e não-proibidas

Região onde todos os atributos são máximos

A intenção foi identificar áreas que sejam a intersecção de regiões que possuem todos os atributos com classificação “Muito bom”. A equação é a seguinte:

$$\begin{aligned}
 & ([\text{Pedologrd} \cdot \text{Ponderacao}] = 6.\text{AsGrid}) \quad \text{and} \\
 & ([\text{Geomorfgrd} \cdot \text{Ponderacao}] = 6.\text{AsGrid}) \quad \text{and} \\
 & ([\text{Geologrd} \cdot \text{Ponderacao}] = 6.\text{AsGrid})
 \end{aligned}$$

O resultado, porém, revelou a inexistência de áreas com essa característica. Caso existisse, seria ideal o estabelecimento de um aeroporto, em termos de plataforma genética.

Região onde todos os atributos são mínimos

A intenção foi identificar áreas que sejam a intersecção de regiões que possuem todos os atributos com classificação “Péssimo”. A equação é a seguinte:

$$\begin{aligned} & ([\text{Pedologrd} \cdot \text{Ponderacao}] = 1.\text{AsGrid}) \quad \text{and} \\ & ([\text{Geomorfgrd} \cdot \text{Ponderacao}] = 1.\text{AsGrid}) \quad \text{and} \\ & ([\text{Geologrd} \cdot \text{Ponderacao}] = 1.\text{AsGrid}) \end{aligned}$$

Como no caso anterior, o resultado revelou a inexistência de áreas com essa característica. Essas áreas seriam, caso existissem, regiões onde certamente não se deveria implantar um aeroporto.

Região com ponderação maior ou igual a 4 (são classificados como no mínimo: “bom”)

Como alternativa para identificação de regiões de boas características para todos os atributos, formulou-se a equação seguinte, tentando-se reunir áreas de intersecção de atributos com classificação ou “Bom”, ou “Muito Bom”

$$\begin{aligned} & ([\text{Pedologrd} \cdot \text{Ponderacao}] \geq 4.\text{AsGrid}) \quad \text{and} \\ & ([\text{Geomorfgrd} \cdot \text{Ponderacao}] \geq 4.\text{AsGrid}) \quad \text{and} \\ & ([\text{Geologrd} \cdot \text{Ponderacao}] \geq 4.\text{AsGrid}) \quad \text{and} \\ & ([\text{Agua} \cdot \text{Peso}] = 1) \end{aligned}$$

O mapa gerado foi a Figura 29:



Figura 29. Classificados como no mínimo: “bom”

Mapa de Aptidão

Aqui, estabeleceu-se como aptidão para uma obra aeroportuária a exclusão de regiões classificadas como Péssimas, fazendo uso de mapas anteriormente gerados. Na Figura 30, regiões onde a coloração é vermelha, são aquelas delimitadas pelo mapa de regiões Proibidas. A coloração amarelada caracteriza regiões consideradas inaptas sob esse critério de aptidão, e as de cor verde, as regiões aptas.

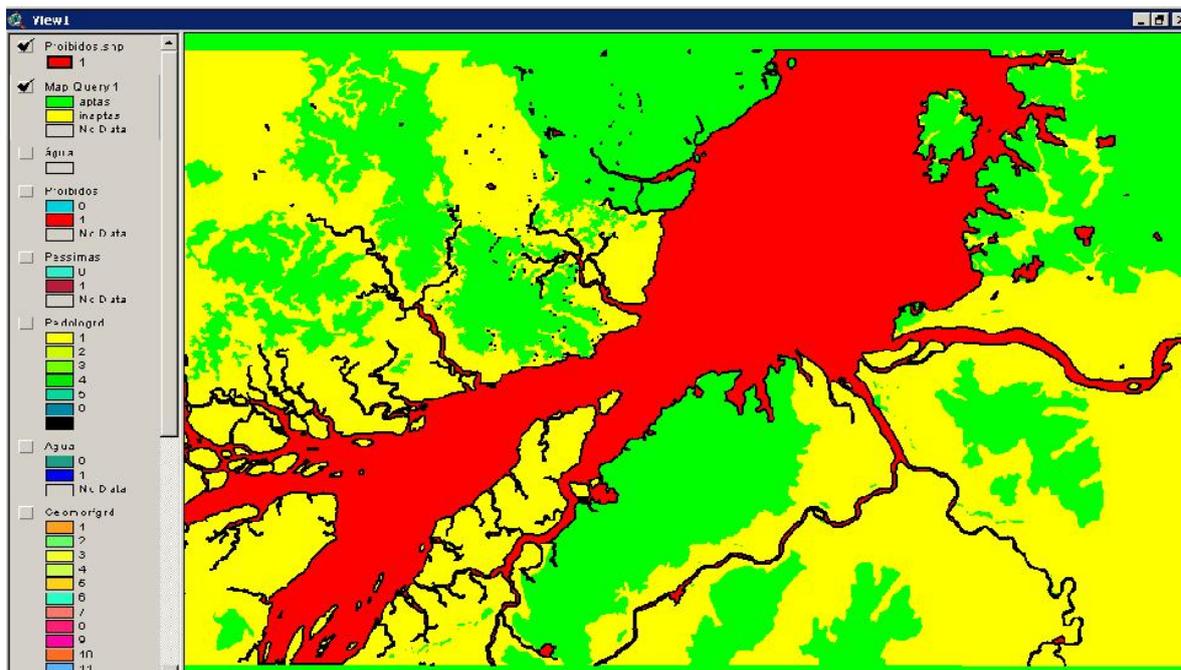


Figura 30. Mapa de aptidão

4.3.2.5.2. Ponderação Matemática

Esse tipo de Álgebra de Mapas permitiu o procedimento de operações do tipo soma e divisão, usadas para mapas de aptidão calculados por média simples e média ponderada.

Média simples

A equação desenvolvida nada mais é que uma média aritmética dos pesos de ponderação com todos os atributos possuindo mesma relevância:

$$\left(([\text{Geologrd} \cdot \text{Ponderacao}] + [\text{Geomorfgrd} \cdot \text{Ponderacao}] + [\text{Pedologrd} \cdot \text{Ponderacao}]) / 3 \right)$$

O critério de aptidão segue, nesse caso, é a mesma classificação estabelecida para os atributos. Quanto maior o valor, entre 1 e 6, melhor a gênese do lugar.

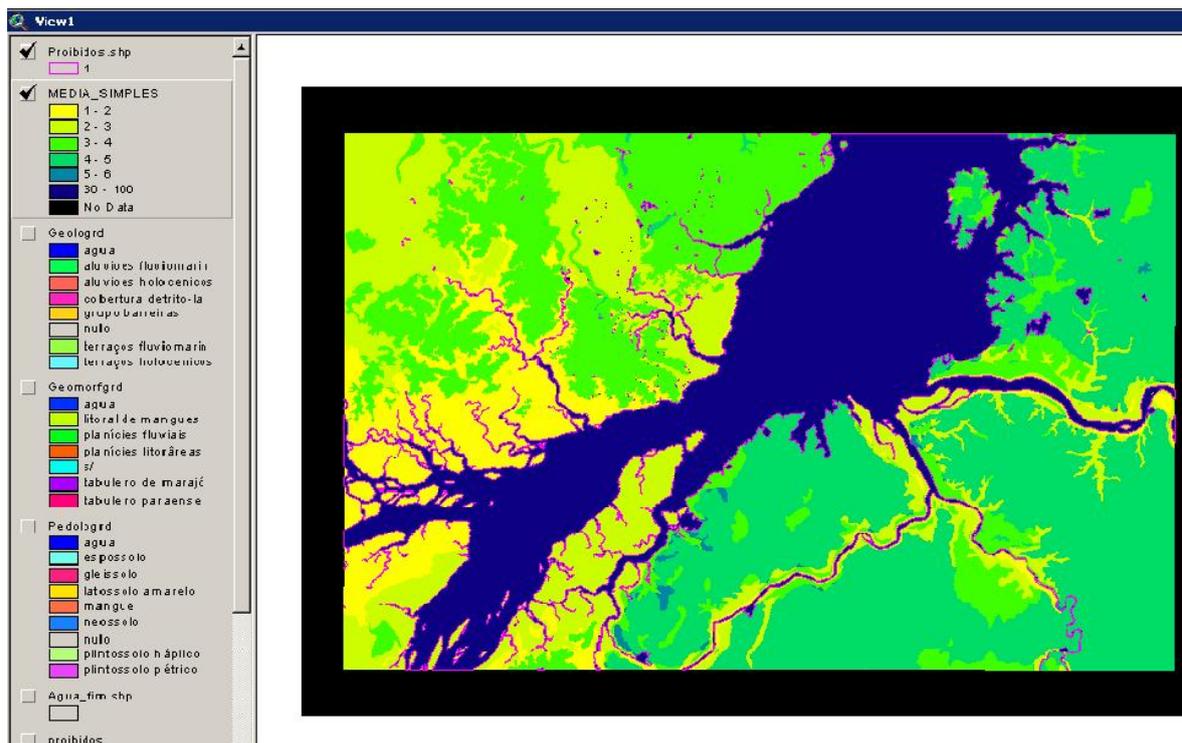


Figura 31. Mapa de aptidão usando média simples

Média Ponderada

Nesse caso, procedeu-se raciocínio parecido com o da média simples, atribuindo, porém, ao mapa pedológico, que carrega as características dos solos, uma relevância maior. Essa relevância é traduzida em termos de um peso igual a 40% a esse mapa, enquanto que os demais contribuem com apenas 30% cada, na formação do mapa de aptidão.

A equação é a seguinte:

$$(((\text{Geologrd} \cdot \text{Ponderacao}] * 0.3)) + ([\text{Pedologrd} \cdot \text{Ponderacao}] * 0.4) + ([\text{Geomorfgrd} \cdot \text{Ponderacao}] * 0.3)$$

E o mapa resultante é representado pela Figura 32:

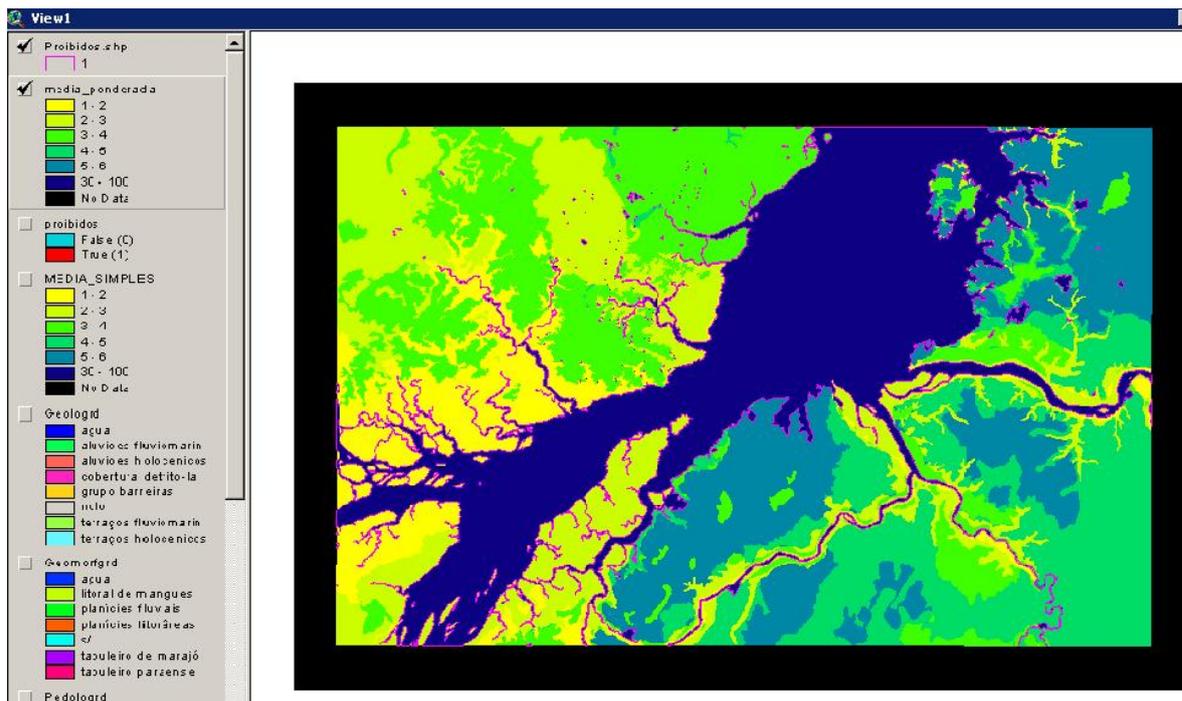


Figura 32. mapa de aptidão usando média ponderada

Percebe-se que essa pequena diferença no cálculo entre as médias simples e ponderada resultou num mapa consideravelmente diferente. A região que compreendia classes de aptidão de valores entre 5 e 6, ou seja, “Muito Bom”, aumentou substancialmente ao se atribuir maior relevância às classes de solos.

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do Geoprocessamento usando ambas as bases de dados produziu inúmeras conclusões que auxiliam na avaliação da ferramenta em estudo:

- A qualidade final depende fundamentalmente da base de dados: os mapas produzidos após o processo de digitalização com base nas cartas em papel, dificilmente teriam a mesma qualidade e exatidão que os mapas disponibilizados pelo IBGE. Esses, mesmo que gerados por processo semelhante ao tentado na primeira experiência, certamente foram produzidos sob certo controle de qualidade, que envolve um ambiente e climas propícios, condições adequadas de armazenamento das cartas, uso de *scanners* apropriadas e softwares mais precisos, mão-de-obra especializada, e outros. Esses cuidados certamente influenciam na qualidade do resultado e são dificilmente concebíveis em ambiente de estudo, onde vinha se trabalhando;

- Há propagação de erros durante o processo de digitalização de mapas em papel. A cada etapa da digitalização, imprime-se um erro, que vai se expandindo na medida em que essas etapas vão sendo cumpridas. Dependendo da acurácia desejada, essa característica pode vir a inviabilizar os dados originais.

- As cartas digitalizadas contêm imperfeições. Por isso, é de extrema importância verificar os erros e defeitos que cada carta contém. O fato de inexistir polígonos delimitando as cidades no mapa de pedologia é um bom exemplo. Nesse caso conseguiu-se burlar o problema, mas há uma probabilidade de um erro como esse venha a tornar a base de dados descartável.

- Atenção especial deve ser dispensada ao processo de atribuição de classes aos polígonos. Quando não se conhece os meios que geraram um mapa digitalizado, ou seja, não se tem controle sobre o processo de digitalização, pode haver características que influenciem etapas posteriores, caso não se proceda com negligência. É o caso da existência de 2, 3 ou mesmo 4 polígonos sobrepostos, em um mesmo tema, caracterizando a mesma área, ou a existência de pequenas ilhas em um dos mapas, e em outro não.

- Ampla gama de softwares disponíveis para Geoprocessamento. Essa realidade facilita a interação dos alunos com essa ferramenta, e permite, para cada etapa, o uso de um programa mais indicado e eficiente.
- O Software ArcView é de fácil manuseio. Ou seja, o software mais explorado, além de aprendido na disciplina de Geoprocessamento, permite ao aluno certa autonomia ao fazer uso do mesmo.
- A Álgebra de Mapas depende do conhecimento específico da área de aplicação, bem como da interação com outras áreas (multidisciplinaridade). O que se pretendeu exprimir aqui é que, para a produção de resultados consistentes e úteis com a ferramenta em questão, não basta saber executar as funções necessárias para calcular um mapa de aptidão, por exemplo. No caso do presente trabalho, é preciso ter conhecimento da área de Geologia de Engenharia, saber caracterizar e identificar uma plataforma genética viável à implantação de um aeroporto, para que os mapas de aptidão geotécnica produzidos apontem regiões realmente aptas a essa finalidade.

Sugestões

Visando auxílio no estudo da plataforma genética, o uso da ferramenta de Geoprocessamento é claramente indicado aos alunos. O trabalho com os mapas em papel, porém, não é o mais recomendável, visto todas as justificativas já elencadas. Como existe a disponibilidade de mapas em formato digital, a tendência é se trabalhar com essas informações, mais modernas e precisas

Consideração Final

Todo o processo executado durante esse Trabalho de Graduação foi relativamente laborioso e fatigante. Porém, os resultados obtidos e as experiências adquiridas ao longo desse processo, são de suma importância para a avaliação da ferramenta de Geoprocessamento como técnica para se estabelecer a Plataforma Genética de uma região, visando a implantação de um aeroporto. Mais que isso, ela é capaz de avaliar, sem sombra

de dúvidas, essa mesma Plataforma, mas de regiões onde haja um aeroporto já estabelecido.

A partir do momento em que os dados de interesse são adquiridos e consegue-se desenvolvê-los a ponto de capacitá-los à Álgebra de mapas, o trabalho à frente inexistente. A única regra necessária é a da criação. Elaboram-se métodos de ponderação, atribuem-se pesos, distribui-se classes, e determinam-se critérios de aptidão o quanto se queira.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SILVA, Ardemirio de B. **Sistema de Informações Geo-Referenciadas**, Conceitos e fundamentos – Campinas, SP: Editora Unicamp, 2003.
- [2] OLIVEIRA, Antônio Manoel dos S. e BRITO, Sérgio Nertan A. (editores), **Geologia de Engenharia**, São Paulo, SP: ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.
- [3] VERTAMATTI, Eugênio, **Contribuição ao conhecimento geotécnico de solos da Amazônia com base na investigação de aeroportos e metodologias MCT e Resiliente**. São José dos Campos, SP: Tese de Doutorado, ITA 1988.
- [4] MONIZ, Antônio C. **Elementos de Pedologia**, São Paulo, SP: Polígono, Editora da Universidade de São Paulo, 1972.
- [5] PETRI, Setembrino e FÚLFARO, Vicente J. **Geologia do Brasil**. São Paulo, SP: T. A. Queiroz: Ed. Da Universidade de São Paulo, 1983
- [6] BARBOSA, Cláudio Clemente F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**, Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pela Dra. Evlyn Márcia Leão Moraes Novo, e Dr. Gilberto Câmara Neto. São José dos Campos, SP: INPE, 1997.
http://www.dpi.inpe.br/dpi/teses/claudio/BIB_F.html
- [7] VERTAMATTI, Eugênio, GEO-32. **Geologia de Engenharia_ Roteiro de Aulas**, São José dos Campos, SP: ITA
- [8] IBGE_ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: <http://www.ibge.gov.br/>
- [9] WIKIPÉDIA: <http://www.wikipedia.org/>
- [10] EPAMIG, **Operações de Análise Espacial**, apostila.
http://www.epamig.br/geosolos/Apostila_PDF/Geo_cap4.pdf.
- [11] ESRI – Environmental Systems Research Institute, **Model Builder- For ArcView Spatial Analyst_** (manual), Estados Unidos, 2000.
- [12] Projeto Cactáceas Brasileiras. <http://www.brcactaceae.org>
- [13] Universidade de Liverpool www.liv.ac.uk
- [14] GeoAmbiente-Soluções em Geotecnologia www.geoambiente.com.br
- [15] BARBOSA, Cláudio Clemente F., CORDEIRO, João P. C., **Análise Espacial de Dados Geográficos**, livro arquivo PDF

FOLHA DE REGISTRO DO DOCUMENTO			
1. CLASSIFICAÇÃO/TIPO TC	2. DATA 21 de novembro de 2005	3. DOCUMENTO N° CTA/ITA-IEI/TC-008/2005	4. N° DE PÁGINAS 77
5. TÍTULO E SUBTÍTULO: Técnica para estabelecimento da plataforma genética utilizando Geoprocessamento			
6. AUTOR(ES): Fabiola Cech de Oliveira			
7. INSTITUIÇÃO(ÕES)/ÓRGÃO(S) INTERNO(S)/DIVISÃO(ÕES): Instituto Tecnológico de Aeronáutica. Divisão de Engenharia de Infra-Estrutura Aeronáutica – ITA/IEI			
8. PALAVRAS-CHAVE SUGERIDAS PELO AUTOR: geoprocessamento, SIG, plataforma genética, solos, Belém			
9. PALAVRAS-CHAVE RESULTANTES DE INDEXAÇÃO: Mapeamento do solo; Sistema de informação geográfica – GIS; Análise dos solos; Geologia; Engenharia geotécnica			
10. APRESENTAÇÃO: X Nacional Internacional Trabalho de Graduação, ITA, São José dos Campos, 2005. 77 páginas.			
11. RESUMO: A análise concomitante dos mapas geológico, pedológico e geomorfológico é capaz de gerar uma visão macro da formação geológica de uma região. Na disciplina de graduação do curso de Infra-Estrutura do ITA, GEO 31 – Geologia de Engenharia, ministrada pelo professor Eugênio Vertamatti, os alunos são desafiados a confrontar esses três mapas analisando as diversas informações neles contidas, interpretando a plataforma genética da região, a fim de apontar localidades propícias à implantação de um aeroporto. Sob essa motivação, o presente trabalho objetivou estudar e estabelecer os procedimentos necessários para essa tomada de decisão utilizando o geoprocessamento como ferramenta, a fim de aprimorar a disciplina citada, visto que essa atividade é desempenhada, ainda hoje, por meio de técnicas tradicionais. Para isso, além de ter-se buscado a melhor fonte de dados visando a qualidade final e otimização na manipulação, inseriu-se esses dados num SIG (Sistema de Informação Geográfica), cuja operação é ensinada neste mesmo curso de graduação, na disciplina de GEO 43 – Geoprocessamento. Trabalhou-se, também, todas as etapas de geoprocessamento necessárias, desde o georreferenciamento, vetorização, até a álgebra de mapas, produzindo assim, diversos resultados que validam essa técnica.			
12. GRAU DE SIGILO: (X) OSTENSIVO () RESERVADO () CONFIDENCIAL () SECRETO			