

Alternativa de Produção de Mapas Digitais em Escala Grande visando a Análise Temporal em SIG

Prof^ª. Dr^ª Ruth Emilia Nogueira Loch

Universidade Federal de Santa Catarina
Campus Universitário - Trindade
Caixa Postal 476
CFH / GCN
88010-970 Florianópolis SC
✉ renloch@cfh.ufsc.br

Conteúdo	
	1 Introdução
	2. Embasamento teórico metodológico
	2.1 Análise temporal utilizando imagens de sensores remotos
	2.2 Fotografias Aéreas e o Mapeamento dos Recursos Ambientais
	3. Material e método
	3.1 Equipamentos e Programas Utilizados
	3.2 Material Cartográfico Utilizado
	3.3 Metodologia
	3.3.1 Confeção dos mapas de uso/cobertura da terra utilizando fotointerpretação
	3.3.2 Correção Geométrica das Fotos Aéreas e <i>Overlays</i> da Fotointerpretação
	3.3.3 Vetorização dos <i>Overlays</i> da Fotointerpretação
	4. Resultados e Discussões
	4.1 Avaliação da qualidade geométrica das feições fotointerpretadas e vetorizadas
	4.1.1 Correção geométrica da foto de 1996 com a base cartográfica
	4.1.2 Registro das fotos de 1978 e da foto de 1996
	4.1.3 Registro das fotos de 1956 com a foto de 1996
	4.2 Mapas temáticos resultantes da fotointerpretação
	5. Conclusões
	6. Referências Bibliográficas

Resumo: A produção de cartas em escala grande geralmente é feita por procedimentos padronizados da Fotogrametria, em empresas especializadas. As informações temáticas como, tipo de solo, cobertura do solo, geomorfologia e cobertura vegetal, são obtidas a partir de técnicas de Fotointerpretação Visual e geralmente são feitas depois, por especialistas, conforme as necessidades. Com os procedimentos de fotointerpretação visual obtêm-se *overlays* que precisam ser transformados para o meio digital, surgindo daí um problema: como transformar as informações temáticas delineadas nos *overlays* para o meio digital com qualidade geométrica confiável? Essa preocupação foi objeto de uma pesquisa onde se tinha como objetivo, proceder análises temporais em SIG, utilizando informações de fotografias aéreas em escala 1:30 000, de três datas diferentes. Esse artigo mostra os resultados obtidos nessa pesquisa, com a aplicação de uma alternativa metodológica para transformar do meio analógico para o meio digital, as informações temáticas obtidas na fotointerpretação visual. Foram utilizados softwares CAD disponíveis no mercado brasileiro e base cartográfica digital, para retificar e depois digitalizar as informações temáticas obtidas na fotointerpretação.

Palavras chave: Retificação de Fotografias aéreas, Transformação analógico/digital, produção de mapas temáticos digitais

1 Introdução

A maioria dos mapas temáticos básicos como do uso do solo, são ainda hoje produzidos a partir da interpretação de fotografias aéreas. Até poucos anos atrás os mapas obtidos da interpretação de aerofotos eram apresentados em papel. Para tanto as informações colhidas nas aerofotos eram "ajustadas" a uma base cartográfica, a qual geralmente era uma carta topográfica do mapeamento sistemático brasileiro. Algumas vezes a escala da carta topográfica não era adequada para o nível de detalhamento que se desejava, pois as aerofotos utilizadas tinham escala nominal maior que aquela da carta (exemplo: Carta 1:50 000 e aerofoto 1: 25 000). Por isso, se ampliava a carta até obter a mesma escala da aerofoto, e então se ajustava o *overlay* da fotointerpretação à carta, considerando as feições lineares (rios e estradas) existentes em ambos. Mesmo que este seja um procedimento que gera dados inconsistentes foi, e é, ainda utilizado no Brasil, apesar das mudanças na saída dos mapas temáticos produzidos por fotointerpretação, os quais passaram a ser disponibilizados em meio digital.

É verdade que com o surgimento dos mapas em meio digital, certos conceitos cartográficos como a escala, passaram a ser negligenciados por pessoas que trabalham com mapas e cartas, pois, segundo alguns profissionais "um número digital não tem escala". Este tipo de afirmativa não passa de um equívoco. A questão da escala, em cartografia, está associada ao grau de detalhamento do conteúdo de um mapa, à qualidade geométrica dos dados e aos custos para levantar a informação (quanto mais informações mais caro será o mapeamento). Considerando que um mapa, como qualquer desenho ou figura, ponto ou pixel, é entendido num computador como um número, então para se trabalhar com cartografia em meio digital não é preciso preocupações com a qualidade das medições? A qualidade das medições estão diretamente ligadas à escala. Como é que se pode confiar nos dados cartografados se isso não for considerado?

Dessa discussão inicial surge a questão principal tratada nessa pesquisa: Como produzir cartas temáticas em escala grande a partir da interpretação visual de aerofotos visando disponibilizá-las em meio digital para posterior análise temporal em Sistemas de Informações Geográficas – SIG? O trabalho realizado mostra a importância da escala, da base cartográfica e das medições efetuadas para se obter tais mapas temáticos em escala grande (1:10 000) a partir de aerofotos em escalas médias (1: 25 000 e 1: 30 000). Apresenta-se e discute-se os resultados obtidos na aplicação de uma alternativa metodológica para transformar do meio analógico para o meio digital, as informações temáticas obtidas na fotointerpretação visual.

O primeiro fator considerado para fazer análise temporal foi definir a escala dos mapas em função da escala da base cartográfica. Com a mesma escala, todos os mapas (3 mapas de uso e cobertura da terra, sendo um para 1956, outro para 1978 e o último para 1996) apresentaram um mesmo nível de detalhamento. O segundo fator considerado foi, tomar cuidado para que todos os mapas temáticos estivessem em um mesmo sistema de projeção cartográfica. Por fim, preocupou-se em ter uma confiabilidade nos dados mapeados, o que inclui a questão do conteúdo e da geometria do mapas.

Os mapas temáticos produzidos mostram o Uso/Cobertura da Terra em uma área degradada pela mineração do carvão e seus arredores no município de Siderópolis, em Santa Catarina Brasil (vide Figura f1).

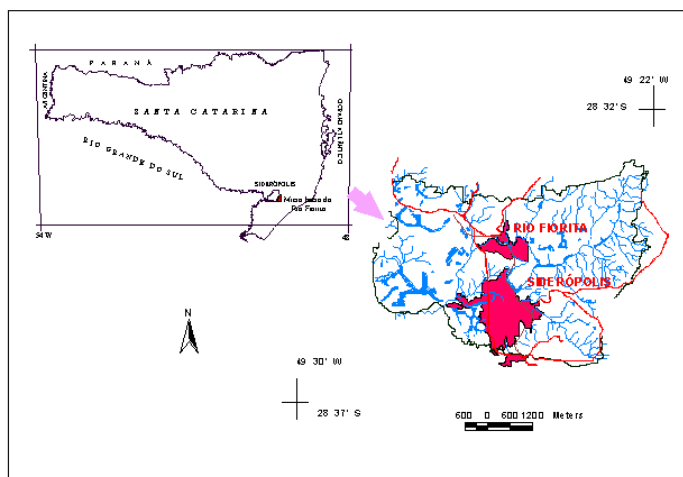


Fig. 1: Área Minerada a céu aberto e seus arredores em Siderópolis, SC

2. Embasamento teórico metodológico

2.1 Análise temporal utilizando imagens de sensores remotos

A combinação de imagens de épocas diferentes fornece informações sobre as mudanças que podem ter ocorrido em uma área. A fusão de imagens temporais é aplicável para imagens de um mesmo sensor, assim como de múltiplos sensores. Considerando os objetivos do estudo e prevendo a utilização de imagens de um mesmo sensor, é preciso estar atento para características tais como: resolução temporal, disponibilidade de imagens em datas específicas, qualidade destas imagens (sem nuvens) e incremento de custo para aquisição (Pohl, 1996).

Na avaliação de mudanças temporais é preciso considerar intervalos de tempo diferenciados para a aquisição de dados temporais de sensores remotos, conforme o caso de estudo. Na detecção de mudanças no uso da terra, considerando áreas rurais que se tornaram urbanas, é requerido um intervalo de 5 a 10 anos entre duas imagens. Para áreas ambientalmente críticas, como no caso de mineração e pedreiras, é indicado um inventário a cada 2 ou 5 anos, enquanto as áreas de sensibilidade ambiental, tais como corpos d'água, áreas alagadas ou banhados, precisam ser mapeadas num intervalo de 7 a 10 anos (Jensen, 1983).

2.2 Fotografias Aéreas e o Mapeamento dos Recursos Ambientais

A fotografia aérea é ainda o sensor mais conhecido e empregado na identificação e mapeamento dos recursos ambientais. Primeiro, porque a resolução espacial desse sensor dificilmente é igualada por outros sensores disponíveis para uso civil; segundo, porque o conteúdo de uma aerofoto é de fácil interpretação, pois apresenta uma aparência natural em relação à forma, tamanho e cor (filme colorido) dos alvos fotografados (Loch, 2000).

O princípio da câmara fotogramétrica é o de tomada de fotografias analógicas (em filme negativo) que são transformadas em informações através do processamento fotogramétrico, que, por sua vez, é a retificação de imagens. São padronizadas as constantes focais das câmaras, o formato do filme negativo e as normas de calibração do sensor, dos instrumentos de restituição e dos produtos finais, ou seja, dos mapas (Bähr, 1991). As fotografias aéreas são, atualmente, digitalizadas em *scanners* fotogramétricos para serem processadas fotogrametricamente e produzirem informações na forma digital.

A Fotogrametria constitui-se um processo totalmente padronizado, e isso propiciou sua ampla difusão e operação generalizada. Atualmente há disponibilidade de fotografias aéreas, estereorrestituidores e produtos obtidos da Fotogrametria, como mapas e ortofotos, na maioria dos países (Bähr, 1991).

Nas câmaras métricas geralmente são utilizados filmes pancromáticos de 23 x 23 cm para produzir fotografias em preto e branco a partir de filmes pancromáticos. Esses filmes registram os comprimentos das ondas da faixa espectral da região da luz visível (400 a 700 nanômetros), resultando em um produto fotográfico com variações de tonalidades de cinza, provenientes dos diversos valores de radiância presentes na cena.

A fotografia pancromática é um instrumento indispensável na confecção de mapas em escala grande (cartas topográficas, plantas cadastrais, cartas temáticas), no estudo de conservação do solo e no planejamento urbano e rural, sempre que for necessário um alto grau de detalhamento (Brew, 1980; Loch, 1993).

Na fotointerpretação com fins de mapeamento temático a fotografia aérea propicia um detalhamento incomparável com aquele obtido com outros sensores remotos como as imagens Landsat 5 Tm e CASI (Compact Airborn Spectrommeter). Para exemplificar, no mapeamento da cobertura florestal nas áreas confrontantes com a mineração a céu aberto, Loch (2000) obteve quatro classes de vegetação nativa secundária (Capoeirão, Capoeira, Capoeirinha e Capoeira Rala) com a interpretação visual de aerofotos na escala 1:25 000, contra duas classes (Capoeirão e Capoeira) obtidas na classificação digital das imagens do CASI e apenas uma classe nas imagens TM: a Vegetação Nativa. Para as áreas de cultivo de eucaliptos a autora obteve sete classes, considerando idades diferentes, densidades e espécies diferentes, ao interpretar as mesmas aerofotos. Com os sensores digitais, após a classificação automática obteve duas classes: Eucalipto Jovem e Eucalipto (adulto).

Há três possibilidades para a correção geométrica de imagens, que são utilizadas conforme a aplicação:

1. **registro** – usado quando se quer comparar os dados de duas imagens de datas diferentes; para tanto, é suficiente uma transformação Afim ou Polinomial baseada em pontos de amarração comuns às duas imagens, e, neste caso, os pontos de amarração localizados nas duas imagens são medidos para transformar a geometria de uma imagem para a geometria da outra, tornando as imagens comparáveis pixel a pixel (Pohl, 1996);
2. **georreferenciamento** – o usuário designa coordenadas para os pixels da imagem via modelo de correção geométrica, onde os pontos de controle deverão ser comuns à imagem e a um mapa, o qual definirá os valores de coordenadas para aquele ponto na imagem que assumirá a geometria e projeção do mapa, embora as distorções do relevo não sejam corrigidas; para que isto ocorra, são necessárias informações sobre altitudes terrestres (Pohl, 1996);
3. **retificação de imagens digitais** – utiliza modelos matemáticos desenvolvidos na Fotogrametria para modelar; as relações geométricas entre dois espaços são geralmente feitas através de um conjunto de pontos dados em ambos os espaços, os quais devem conter informações suficientes ou superabundantes da geometria que é objeto de interesse (Lugni, 1985).

O principal fator a ser considerado na correção geométrica de imagens é a distribuição dos pontos de controle, também denominados de pontos de amarração. Esses pontos devem ser em número suficiente e bem distribuídos, e seu número dependerá do modelo utilizado ou do grau do polinômio (Pohl, 1996), que cresce segundo sua ordem (quanto maior o grau, mais pontos são necessários para calcular os dados). Os polinômios são muitas vezes escolhidos empiricamente como o modelo matemático a ser usado em diferentes aplicações.

Um polinômio de 1º grau descreve a translação, rotação, escala e obliquidade da imagem. O de 2º grau adiciona parâmetros de torção e convexidade. Os parâmetros dos polinômios de 3º grau não podem ser explicados por efeitos físicos. Os modelos polinomiais corrigem a imagem somente localmente; por isso esta depende da localização e distribuição dos pontos de controle. Em terrenos planos, uma boa distribuição de pontos de controle garante uma boa correção de imagem. Esse tipo de modelo não é indicado para ser utilizado quando há fortes variações na topografia, pois pode conduzir a grandes erros em áreas não cobertas por pontos de controle. Nesse caso, é preciso um grande número de pontos de controle (Pohl, 1996).

3. Material e método

3.1 Equipamentos e Programas Utilizados

1. Estereoscópio de espelhos, base plástica transparente, e canetas para escrita sobre plástico, com pena 0,3 mm, para interpretação das aerofotos;
2. computador Pentium 166Mhz, 64 Mb de memória Ram, disco rígido de 3 Gb, placa de vídeo de 4 Mb;
3. programa MicroStation-SE – Bentley, para a vetorização dos dados dos *overlays* da fotointerpretação;
4. programa Descartes – mdI do MicroStation, para a correção geométrica das aerofotos e dos *overlays* da fotointerpretação;
5. programa Arc View-GIS – ESRI, para a manipulação e análise temporal dos mapas da interpretação visual das aerofotos e das imagens de satélite;

3.2 Material Cartográfico Utilizado

1. fotografias aéreas do voo do Estado de Santa Catarina, na escala 1:25 000, nas datas de 1956 e 1978, obtidas junto à SDEIM-SC;
2. fotografias aéreas do voo realizado em 1996 para o Projeto JICA, na Região Carbonífera do Estado de Santa Catarina, na escala 1:30 000, cedidas pela empresa Aerocarta S.A.;
3. cópia digital da aerofoto número 2 da faixa 11, com resolução de 28 µm, do voo realizado em 1996 para o Projeto JICA;
4. fotografias aéreas do voo realizado em 1996 para o Projeto JICA, abrangendo parte da área de estudo (Florita), na escala 1:5 000, cedidas pela empresa Aerocarta S.A.;
5. base cartográfica digital na escala 1:10 000, restituída das aerofotos de 1996, do Projeto JICA, especialmente produzida para esta pesquisa; gentileza da empresa Aerocarta S.A.;
6. carta aerofotogramétrica da Zona Carbonífera do Sul do Estado de Santa Catarina na escala 1:10 000, no ano de 1956 (fonte: DNPM);

3.3 Metodologia

3.3.1 Confecção dos mapas de uso/cobertura da terra utilizando fotointerpretação

Antes de se iniciarem os trabalhos de fotointerpretação, foi realizada uma visita de campo, já se dispondo nesta ocasião de uma ampliação fotográfica na escala 1:15 000, proveniente do voo 1:30 000 realizado em 1996. Essa visita foi fundamental para reconhecer a paisagem local e associar os elementos que a compõem à sua resposta espectral, ou seja, reconhecimento de feições para estabelecer as chaves de fotointerpretação.

A primeira tarefa executada foi um estudo minucioso das aerofotos dos três anos (1957, 1978 e 1996) através de investigação monocular auxiliada por lente de aumento. Também se buscou auxílio das aerofotos na escala 1:5 000 para sanar dúvidas na interpretação de algumas feições identificadas nas fotos de escalas menores. Isso feito, definiu-se classes de interesse a serem obtidas na interpretação das aerofotos. Em seguida, com o auxílio do estereoscópio de espelhos, foi dada continuidade à observação das aerofotos, estabelecendo-se as classes definitivas a partir do reconhecimento de formas, padrão, tonalidade, textura e densidade, construindo, então, as chaves para a fotointerpretação.

Optou-se por separar o delineamento das classes em 2 *overlays*: um contendo elementos que se desenvolvem linearmente na superfície, tais como estradas, ruas e rios; e outro contendo somente as classes de uso da terra que ocupavam áreas, como por exemplo a cobertura vegetal, o uso agropecuário e áreas de mineração.

É importante salientar que na definição das classes de cobertura da terra foram levados em conta os objetivos do estudo, a escala das fotos aéreas, a qualidade da imagem e a reflectância dos objetos fotografados, os quais, junto à habilidade do fotointérprete, são os principais fatores para o sucesso na fotointerpretação.

Após a definição das classes, das chaves de interpretação, e o estabelecimento da respectiva legenda, deu-se início à interpretação fotográfica, utilizando estereoscópio de espelhos com binocular de aumento.

Para sanar algumas dúvidas quanto ao reconhecimento de elementos interpretados, se pertenciam a uma ou outra classe, efetuou-se a reambulação de campo. Para tanto utilizaram-se as aerofotos nas escalas 1:30 000 e 1:5 000 do voo de 1996, cobertas por um plástico transparente, onde estavam demarcadas as dúvidas da fotointerpretação a serem esclarecidas em campo. Todas as anotações da reambulação foram executadas sobre esse plástico.

A reambulação foi planejada considerando as estradas, os caminhos existentes e a visão panorâmica possibilitada pelo acesso ao topo dos montes de estêreis e dos morros que circundam a área minerada. Assim, no campo, além de visualizar e dirimir as dúvidas, também verificaram-se os locais já classificados, confirmando se realmente pertenciam às classes definidas na fotointerpretação.

3.3.2 Correção Geométrica das Fotos Aéreas e Overlays da Fotointerpretação

Para passar os dados da fotointerpretação para meio digital fez-se primeiro a conversão analógico/digital das fotos e *overlays* através de um *scanner* com resolução de 600 dpi. Somente a foto aérea de 1996 foi digitalizada com *scanner* fotogramétrico com pixel de 28 µm, pois era necessária uma melhor qualidade geométrica e de imagem para a fotografia que serviria de base para as correções geométricas das fotografias de outras datas.

Com os *overlays* transformados em imagem foi possível georreferenciá-los a uma base cartográfica única, no programa Descartes. A seqüência de trabalhos para a retificação de imagens, considerando os *overlays* e as fotos aéreas utilizadas nesta pesquisa foram descritos na figura 2 e detalhados na seqüência.

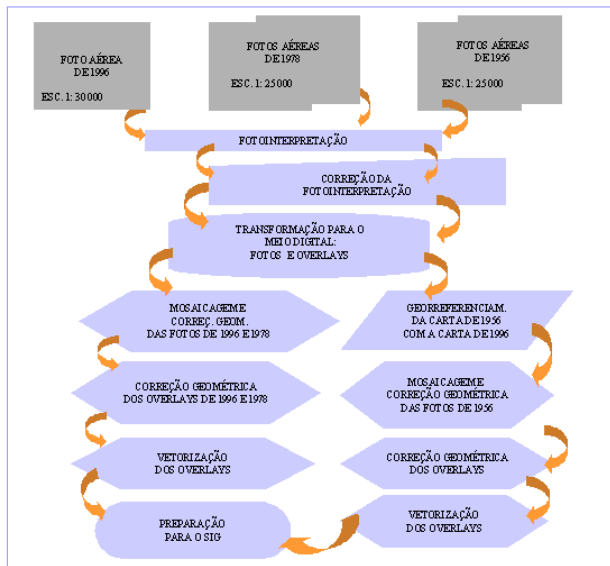


Fig. 2: Etapas da Fotointerpretação

Como sistema de referência para a correção geométrica das aerofotos e *overlays* utilizou-se a base cartográfica na escala 1:10 000 executada por restituição fotogramétrica, a partir de fotos aéreas 1: 30 000 de 1996. O programa utilizado nesta tarefa foi o MicroStation Descartes, que permite a correção geométrica de imagens raster ou mapas em vetor, ou a conjugação de ambos e, também, a vetorização automática, semi-automática e conduzida.

O Descartes apresenta as seguintes opções de modelos de retificação de imagens: Helmert (conhecida como Similaridade, Isogonal, Conforme, Euclidiana), Afim, Projetiva, Polinômio de 2º e Polinômio de 3º grau. Optou-se pelo Polinômio de 2º grau, porque contempla a transformação de escala, rotação, translação, obliquidade, torção e convexidade. Para reamostragem utilizou-se o Vizinho Mais Próximo. Iniciou-se a tarefa de correção geométrica pela foto aérea de 1996 já digitalizada. A seguir, procedeu-se à correção geométrica dos *overlays* da fotointerpretação. Para esta correção utilizou-se como base a imagem de 1996 já retificada. As fotos de 1978 foram retificadas considerando como referência a foto de 1996 já retificada. A seguir, os *overlays* de 1978 foram registrados em relação à foto do mesmo ano.

Para fazer a retificação das fotos aéreas de 1956 foi preciso buscar uma base cartográfica na escala 1:10 000 em meio analógico, executada a partir destas mesmas fotos, pois, as transformações profundas na paisagem, devido a mineração a céu aberto mudou tanto a paisagem local, a ponto de não se encontrarem pontos comuns entre as fotos de 1956 e 1996. Foram fotoidentificados poucos alvos, não mais de uma dúzia, que permaneceram sem alterações ao longo do período em análise. Esses alvos estavam localizados numa vila e em um trecho da estrada de ferro que corta a mesma vila.

Resolveu-se o problema da correção geométrica dos produtos de 1956 da seguinte maneira:

1. digitalização da carta de 1956 em *scanner* de 400 x 400 dpi, para formatos grandes;
2. registro da carta de 1956 (em formato raster) com a base cartográfica de 1996;
3. orientação das fotografias de 1956 em relação à base cartográfica do mesmo ano;
4. registro dos *overlays* de 1956 em relação às suas fotografias.
5. Desta forma todos os *overlays* das fotointerpretações de cada data ficaram corrigidos geometricamente e referenciados ao mesmo sistema de coordenadas da carta-base de 1996.

3.3.3 Vetorização dos Overlays da Fotointerpretação

Todos os *overlays* da Fotointerpretação, uma vez registrados, cada um com suas imagens fotográficas, foram separados em "projetos" para serem abertos cada qual em uma única "vista" composta de imagem fotográfica e *overlay*, no CAD MicroStation. Estes últimos foram transformados para o modo transparente de maneira a propiciar a visualização *overlay*-foto, facilitando o trabalho de vetorização dos dados interpretados. Optou-se pela vetorização conduzida (manual), porque os dados da fotointerpretação eram demasiado detalhados para uma vetorização automática.

Antes de se iniciar a vetorização foi feito um planejamento para determinar como as feições seriam digitalizadas, definir a estrutura dos níveis de informação (*layers*), os atributos, tais como: tipo de linhas, cores e dimensões de símbolos cartográficos e textos. Este procedimento visou economizar tempo de uso da máquina e minimizar os erros inerentes à operação.

4. Resultados e Discussões

4.1 Avaliação da qualidade geométrica das feições fotointerpretadas e vetorizadas

Em todas as correções efetuadas tomou-se o cuidado de escolher pontos comuns de fácil identificação e que estivessem bem distribuídos em toda a área, considerando bordas e área central.

Verificou-se que a área de estudo apresenta um relevo variado. Em aproximadamente 1/3 da área, incluindo a cidade e uma parte das áreas mineradas a oeste, o terreno é suavemente ondulado (3% a 8% de declividade) com altitudes que variam de 100 a 125 m. À montante do rio Fiorita, o relevo é mais acidentado (20% a 45% de declividade), caracterizado por encostas de morros. A altitude nas áreas degradadas varia de 300 m, no divisor de águas, até 100 m nas áreas mais planas. Considerando a topografia da área, tinha-se claro de antemão que a retificação das aerofotos seria uma tarefa difícil, com probabilidade de haver resíduos grandes em pontos isolados, porque a altimetria não foi considerada. Os métodos de correção geométrica disponíveis no programa utilizado para a correção geométrica, Descartes, desconsidera a altitude; portanto, quanto mais plano o terreno, melhores resultados podem ser esperados na correção geométrica.

Na tabela a seguir mostra-se um quadro resumo dos desvios-padrão finais de cada uma das correções geométricas efetuadas e, na seqüência, discutem-se os problemas encontrados para cada tarefa.

Tabela 1 : Desvio-Padrão dos Pontos Utilizados na Correção Geométrica

Descrição da Correção	Desvio-Padrão (m)		
	x	y	xy
Base / a corrigir			
Base Cartográfica 1996 / foto 1996	3,9420	3,2273	3,3153
Foto corrigida 1996 / <i>overlay</i> 1996	0,3747	0,2422	0,3638
Foto corrigida 1996 / foto 1978	2,2506	1,2420	2,0500
Foto corrigida 1978 / <i>overlay</i> 1978	0,3554	0,9071	0,793
Base cartográfica 1956 / base cartog. 1996	0,2033	0,2033	0,0
Base cartográfica 1956 / foto 1956	3,551	1,909	3,208
<i>Overlay</i> de 1956 / foto 1956	3,705	1,952	3,528

4.1.1 Correção geométrica da foto de 1996 com a base cartográfica

Na tabela 1 verifica-se que os maiores resíduos ocorreram na correção geométrica da foto de 1996 com a base cartográfica. Além desta correção geométrica, que utilizou 40 pontos de apoio, foram efetuadas mais duas correções independentes, com menos e com mais pontos, procurando referências diferentes. Entretanto, os resultados não melhoraram significativamente. Para ambos os casos, os resíduos foram maiores que os valores apresentados nesta correção.

Um fato que contribuiu para aumentar os resíduos da retificação da foto aérea de 1996 foi a dificuldade de localizar corretamente os pontos fotoidentificáveis na carta. Os principais fatores que dificultaram a localização dos pontos na carta foram: a) a má qualidade do delineamento das feições terrestres da base cartográfica (comentado no item que analisa a qualidade da representação das feições na base cartográfica), resultado da escolha inadequada do incremento de vetor para tal delineamento das feições; e b) a existência de contornos definidos sem

cuidado, aparecendo com forma e tamanho diferentes em relação à imagem mostrada na fotografia

A figura 3 mostra sobreposição do arquivo vetorial da hidrografia resultante da digitalização do *overlay* da fotointerpretação (já retificado) e a base cartográfica, ambos de 1996. A análise desta figura mostrou que:

1. do centro para o oeste da área as lagoas de ambas as cartas praticamente coincidem, e o erro existente é idêntico àquele encontrado nos resíduos dos pontos de controle utilizados para a retificação das aerofotos; as diferenças de delineamento das bordas é devido à sombra do relevo ou da vegetação arbórea ribeirinha que camufla a imagem destes corpos d'água nas aerofotos, além, é claro, dos problemas já apontados para o delineamento de feições da base cartográfica;
2. do centro para leste, à medida que o relevo fica mais acidentado, as discrepâncias de localização também aumentam, principalmente em relação ao eixo x (coordenada E); esse fato é observado claramente na primeira lagoa, na parte nordeste da área, marcada por um círculo;
3. como esperado, o programa Descartes, por desconsiderar as altitudes, não se mostrou adequado para a retificação de aerofotos que contêm áreas de relevo fortemente ondulado como esse, onde as altitudes variam de 100 a 300 m.

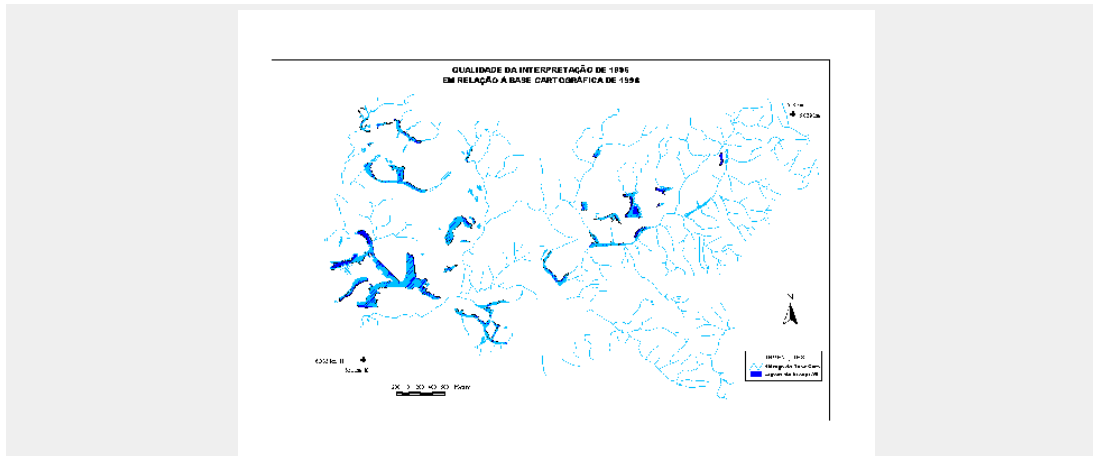


Fig. 3: Qualidade da Interpretação de 1996 em relação à base Cartográfica: sobreposição da hidrografia interpretada nas fotos aéreas de 1996 e da Base Cartográfica da mesma data - para ampliar clicar na imagem -

4.1.2 Registro das fotos de 1978 e da foto de 1996

A retificação das fotos foi uma tarefa demorada, devido às mudanças temporais no uso da terra. Considerando os anos de 1978 e 1996, as mudanças foram acentuadas devido a mineração a céu aberto.

Os resíduos no registro das fotos corrigidas com seus respectivos *overlays* aumentaram em valor devido a dois fatores básicos: mosaicagem de fotos e os traços muito grossos da caneta sobre o *overlay* quando se amplia (aproxima digitalmente) o desenho, o que gera delineamento grosseiro do alvo e conseqüente indefinição na escolha do local correto do ponto.

A figura 4 mostra a sobreposição do arquivo vetorial contendo a hidrografia e rede viária resultante da digitalização do *overlay* da fotointerpretação de 1978 (já retificado) e a base cartográfica de 1996. Os círculos em verde servem apenas como guias para a análise, onde se constatou o seguinte:

1. na área demarcada nos círculos 1 e 8, ocorreram os maiores erros de localização, atingindo um máximo de 248 m em x (coordenada E) e 147 m em y (coordenada N); no círculo 2 a confluência do afluente e o riacho delineado nas fotos aéreas de 1978 está 67 m deslocado daquela delineada na base cartográfica de 1996;
2. na área demarcada pelos círculos 3 e 4 os maiores deslocamentos ocorreram na direção y, atingindo um máximo de 41 m na lagoa dentro do círculo 4;
3. dentro das áreas delimitadas pelos círculos 6 e 7 as diferenças de localização ficaram por conta das mudanças temporais ocorridas no espelho d'água da lagoa e na retificação do riacho;
4. na área delimitada pelo círculo 5 pôde-se observar a forte influência do relevo acidentado na retificação da aerofoto e *overlay*: i) a estrada subindo a vertente está deslocada em ambas as direções de 58 m em x e 38 m em y; ii) na área plana a estrada de ferro não sofreu deslocamento;
5. os erros de deslocamento planimétrico das feições delineadas na fotointerpretação, representadas no arquivo vetorial retificado, excedem aqueles permitidos para cartas classe C, estipulados pelo Padrão de Exatidão Cartográfica;
6. o cruzamento dessas informações para análise temporal sofreu influência dos erros de localização, o que implica em erros qualitativos nas bordas dos temas analisados.

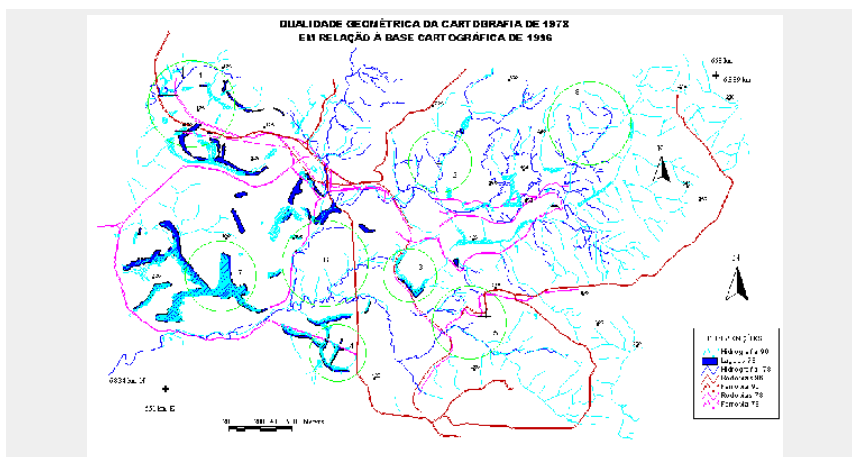


Fig. 4: Qualidade geométrica da cartografia de 1978 em relação à base Cartográfica: sobreposição da hidrografia e rede viária de cada ano.) - para ampliar clicar na imagem -

4.1.3 Registro das fotos de 1956 com a foto de 1996

Considerando as fotos de 1956, para o registro com a foto de 1996, além das mudanças no tipo de uso nas áreas agrícolas, o avanço da mineração modificou totalmente o relevo que existia em 1956. As áreas de mineração já existentes naquela época aparecem em 1996 totalmente modificadas por cavas com águas ácidas provenientes da mineração e pela expansão. Fatos semelhantes também impossibilitaram que se utilizassem as fotos de 1978 retificadas para servir como base para a retificação das fotos de 1956.

Os fatos apontados indicaram que em uma análise temporal, com um intervalo grande de tempo e onde a dinâmica local é rápida, pode se tornar inviável o registro de fotografias aéreas de uma data para outra, o que, conseqüentemente, impedirá as análises temporais em um SIG, a não ser que se faça a restituição fotogramétrica de cada data. No caso, porém, já não existe mais o filme negativo do voo de 1956. Este fato mostra que Jensen (1983) está correto ao afirmar que para análise temporal de áreas de mineração a partir de sensores remotos, deve-se considerar um intervalo de 2 a 5 anos, no máximo.

No caso em estudo, só se conseguiu superar o problema acima descrito porque se descobriu a existência de uma folha cartográfica em poliéster, na escala 1:10 000, oriunda da restituição das fotos de 1956. A cartografia de 1956 foi transformada para o mesmo sistema de projeção da Base Cartográfica de 1996, e então, foi utilizada como Base Cartográfica para a correção das fotos e *overlays* de 1956, ficando, finalmente, todos os produtos, fotos aéreas e *overlays* referenciados em um único sistema de coordenadas. Os resíduos encontrados para os pontos de apoio são aceitáveis para uma base cartográfica na escala 1:10 000, onde 1 mm na carta representa 10 m no terreno.

A figura 5 mostra a sobreposição do arquivo vetorial contendo a hidrografia e rede viária resultante da digitalização da base cartográfica de 1956 e a base cartográfica de 1996. Como se pode observar, os rios que não foram alterados pela mineração coincidem nas duas bases cartográficas, assim como a ferrovia. Outras comparações são impossíveis de serem feitas, porque o uso da terra foi totalmente modificado no período considerado.

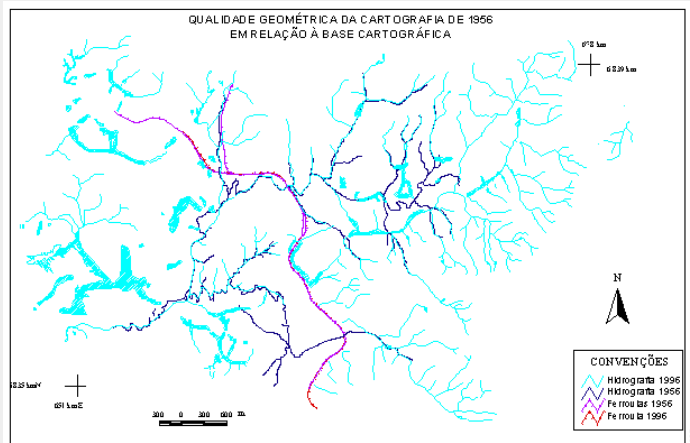


Fig. 5. Qualidade geométrica da cartografia de 1956 em relação à base Cartográfica: sobreposição das hidrografias de cada ano

4.2 Mapas temáticos resultantes da fotointerpretação

Nas figuras 6, 7, 8, e 9 apresenta-se uma seqüência temporal de mapas divididos segundo cinco temáticas: Mineração, Área Agropecuária, Área Urbana (esta, somente para a apresentação neste artigo, foi incluída junto com o tema Área Agropecuária), Reflorestamento de Eucalipto e Vegetação Nativa Secundária. Esses mapas, nada mais são que o resultado da digitalização dos *overlays* da fotointerpretação no CAD, após terem sido agrupados no SIG, segundo as principais categorias de uso da terra predominantes na paisagem local. A diferença nos limites da área interpretada (vide mapas) em cada ano é consequência da direção diferente dos recobrimentos fotogramétricos (o voo de 1996 foi executado na direção Norte-Sul, enquanto os outros foram na direção Leste-Oeste) e também da posição diferente das faixas de voo de 1956 em relação àquelas de 1978. Para facilitar os trabalhos de retificação de aerofotos e evitar maiores erros, suprimiu-se a interpretação das áreas a leste, confrontantes com a mineração, no ano de 1996, e a área urbana ao sul das fotos de 1978. Essa diferença não impediu uma análise geral da área minerada, que está toda contida na área interpretada de todas as datas.

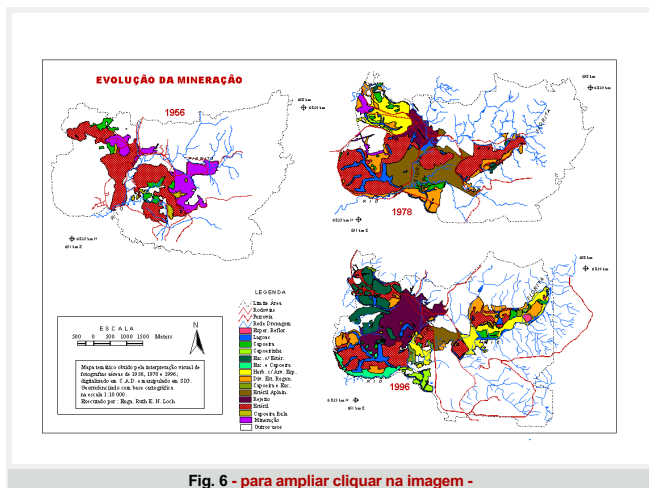


Fig. 6 - para ampliar clicar na imagem -

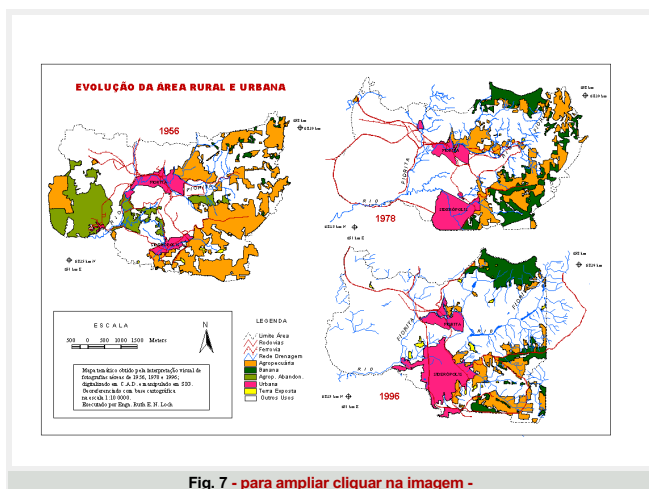


Fig. 7 - para ampliar clicar na imagem -

Alternativa de produção de mapas digitais em escala grande visando a análise temporal em SIG

Prof^ª. Dr^ª Ruth Emilia Nogueira Loch

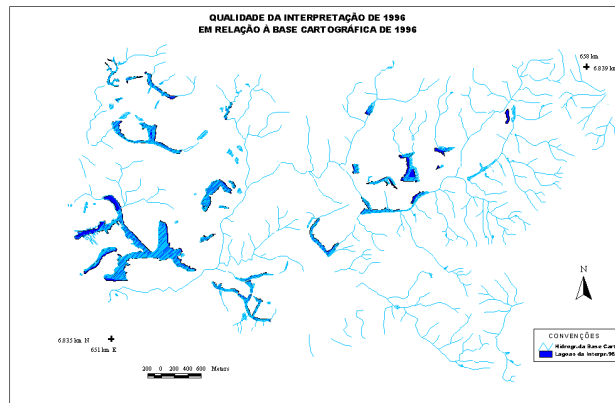


Fig. 3: Qualidade da Interpretação de 1996 em relação à base Cartográfica: sobreposição da hidrografia interpretada nas fotos aéreas de 1996 e da Base Cartográfica da mesma data

Alternativa de produção de mapas digitais em escala grande visando a análise temporal em SIG

Prof^ª. Dr^ª Ruth Emilia Nogueira Loch

**QUALIDADE GEOMÉTRICA DA CARTOGRAFIA DE 1978
EM RELAÇÃO À BASE CARTOGRÁFICA DE 1996**

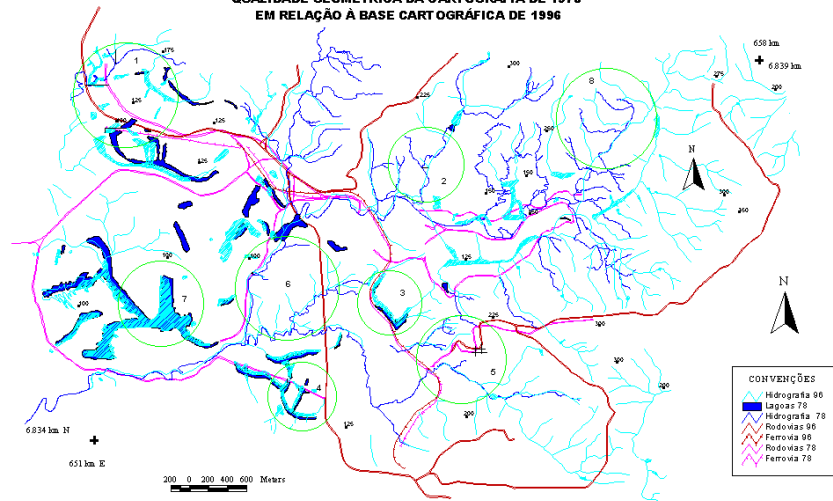


Fig. 4: Qualidade geométrica da cartografia de 1978 em relação à base Cartográfica: sobreposição da hidrografia e rede viária de cada ano.)

Alternativa de produção de mapas digitais em escala grande visando a análise temporal em SIG

Prof^a. Dr^a Ruth Emilia Nogueira Loch



Figura 6

Alternativa de produção de mapas digitais em escala grande visando a análise temporal em SIG

Prof^a. Dr^a Ruth Emilia Nogueira Loch



Figura 7

Alternativa de produção de mapas digitais em escala grande visando a análise temporal em SIG

Prof^ª. Dr^ª Ruth Emilia Nogueira Loch

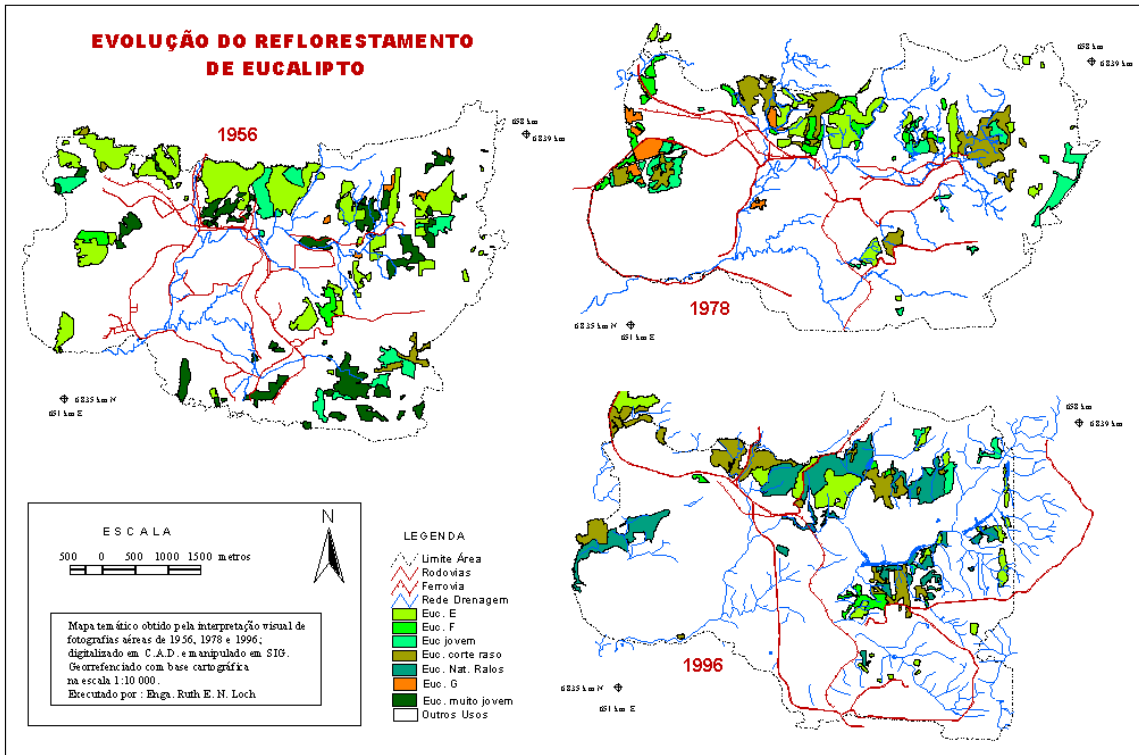


Figura 8

Alternativa de produção de mapas digitais em escala grande visando a análise temporal em SIG

Prof^a. Dr^a Ruth Emilia Nogueira Loch



Figura 9: