

## Avaliação da Resolução de Imagens Digitais para Cadastro

Eng. Msc. Daniel Carneiro da Silva <sup>1</sup>  
Prof. Dr. Quintino Dalmolin <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro Civil, Doutorando em Ciências Geodésicas na UFPR  
fone: (048) 334.1928  
✉ dcsilva@geoc.ufpr.br

<sup>2</sup> Professor do curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR  
fone: (041) 361-3148  
✉ dalmolin@ageoc.ufpr.br

Conteúdo	
	1. Introdução
	2. Conceitos de Resolução
	2.1 Definições básicas
	2.2 Tipos de resolução
	2.3 Resolução em sistemas de TV
	2.4 Equivalência das resoluções geométricas
	3. Imagens Digitais obtidas de Digitalização
	4. Resolução Geométrica e a Identificação de Objetos
	4.1 Relação resolução/precisão
	4.2 Relação resolução/escala
	4.3 Identificação de feições para Cadastro
	5. Análise de alguns Exemplos
	5.1 Exemplo 1: Campo simulado de objetos uniformemente distribuídos
	5.2 Exemplo 2: Imagem simulada com resolução no terreno de 1,0m
	5.3 Exemplo 3: Imagem de fotografia digitalizada na escala original de 1:6.000
	6. Conclusões
	7. Bibliografia

**RESUMO:** Dispõe-se, atualmente, de uma grande variedade de imagens digitais obtidas de satélites ou a partir da digitalização de fotografias aéreas por meio de scanners. Verifica-se a tendência de uma utilização cada vez maior destas imagens na identificação de propriedades rurais e urbanas em mapeamentos cadastrais. A resolução das imagens, no entanto, assim como a avaliação de sua relação com as dimensões dos objetos imageados, nem sempre é considerada, sendo oportuna a revisão e discussão do assunto. Este artigo faz uma comparação entre várias definições de resolução geométrica de imagens digitais e discute as relações entre resolução e escala máxima do produto cartográfico final, além de analisar os tipos das menores feições identificáveis numa imagem. São mostrados exemplos de imagens digitais com resoluções apropriadas para cadastro urbano e rural obtidas a partir de imageamento simulado e fotografias digitalizadas.

**ABSTRACT:** There are, nowadays, a great variety of orbital images obtained from satellites or from digitalizing of aerial photographs by scanners. There is a tendency for an increasing use of these images in the identification of urban and rural property in cadastral mapping. However, the resolution of the images and the evaluation of its relation with the dimensions of the imaged object is never considered. Still, a revision and discussion of this subject is very suitable. This paper compares several definitions of geometric resolution of digital images and discusses the relations between resolution and maximum scale of final cartographic product. Besides that, it analyses the kinds of the smallest features that can be identified on an image. Here are presented examples of digital images with suitable resolution for rural and urban cadastre obtained from simulated imaging and digitalized photographs.

**PALAVRAS CHAVES:** cadastro, imagem digital, resolução geométrica

### 1. Introdução

O cadastro imobiliário e o mapeamento de modo geral contam atualmente com uma oferta cada vez maior de imagens digitais. Estas imagens são obtidas a partir de fotografias aéreas digitalizadas em scanners e de satélites de observação ótica ou radares.

Para o cadastro, que exige grandes escalas, a fotografia convencional continua sendo o produto de sensoriamento remoto com melhor resolução para atingir às especificações da precisão cartográfica necessária para o mapeamento cadastral. Os negativos são digitalizados em scanners de padrões fotogramétricos, gerando imagens digitais para uso nas estações digitais com fins de produção de mapas ou ortofotos.

Até recentemente as imagens de satélites eram limitadas à produção de cartas em escalas pequenas como 1:50.000 ou menores, o que impedia a sua utilização em cartas cadastrais, que exigem escalas maiores como 1:2000 a 1:20.000. Porém entidades internacionais, governamentais e privadas, já começaram a lançar satélites de alta resolução que irão competir com a fotogrametria convencional na produção de mapas em escalas grandes (Silva, D. & Dalmolin, Q., 1997), Konecny (1996). Dentre estes, foram lançados os satélites IRS 1C o EarlBird 1 que têm resoluções IFOV na banda pancromática de 5,8 e 3,0m respectivamente.

Além dos sistemas com sensores óticos também já estão em uso comercial os sistemas de radar em satélites como o Radarsat (resolução nominal de 10m) e aerotransportados como o AeS-1 (resolução nominal de 0,50m). As imagens de radar, tomadas convenientemente, também podem ser processadas para darem o relevo do terreno, tanto por estereoscopia como por interferometria. Os sistemas de radar que usam as técnicas de interferometria podem obter curvas de nível do terreno com grande precisão, como por exemplo, o AeS-1 que pode gerar curvas de nível com espaçamento de até 25cm e precisão de 5 cm (Aerosensing, 1997).

Esta disponibilidade de imagens digitais, no entanto, vem acompanhada de certa confusão no significado real da palavra "resolução" e o que ela mede. Os catálogos dos distribuidores de imagens de satélites e artigos da literatura especializada usam, muitas vezes indistintamente, termos como: resolução no terreno, tamanho de pixel, espaçamento do pixel ou simplesmente resolução, induzindo o leitor menos atento a imaginar que se refere ao tamanho do menor objeto que se pode identificar diretamente no terreno.

O entendimento perfeito de qual é o poder de identificação de feições do terreno ou de objetos de uma imagem, permite analisar quais os limites de sua aplicação, principalmente se o objetivo for cadastro de imóveis como terrenos urbanos, casas, prédios, ruas e estradas. A importância do conhecimento da capacidade de interpretação de imagens relacionada com o poder resolutivo do sensor, principalmente com aquelas tomadas de grande altitude, como é o caso dos satélites, vem desde as fotografias tiradas pela nave Apollo VI (Ratzlaff, 1971) e Skylab (Colvocoresses, 1972) nos estudos que precederam ao lançamento do Landsat em 1974. O estudo da resolução naturalmente continua sendo um dos tópicos mais importantes no projeto de lançamento de satélites de observação e interessa de perto aos potenciais usuários das imagens de alta resolução.

Este artigo fará uma discussão sobre os conceitos da palavra resolução referentes às imagens digitais encontrados na literatura. Uma imagem digital tem várias características que são chamadas de resoluções segundo um dos aspectos: geométrico, radiométrico, multiespectral e até temporal. Uma discussão completa seria muito longa, desta forma o artigo discutirá apenas o aspecto geométrico e as relações usuais entre resolução e a escala do produto final, tendo em vista a aplicação ao cadastro e à precisão cartográfica exigida. Em seguida serão analisados quais os tipos dos menores objetos que podem ser identificados diretamente numa imagem digital. Também serão mostrados exemplos com imagens digitais simuladas e fotografias aéreas digitalizadas.

### 2. Conceitos de Resolução

#### 2.1 Definições básicas

A definição mais simples para o termo resolução é a distância mínima entre dois objetos que um sensor pode registrar distintamente (Cowel, 1983).

Um texto básico sobre imagens de radar do Canada Center for Remote Sensing (CCIR, 1995) define de forma similar assim:

"Resolução descreve o espaço discernível entre duas respostas de alvos similares...". Por esta definição se percebe que dois objetos que têm uma resposta forte (eco, no caso do radar) podem ser pequenos e ainda seriam discerníveis, enquanto que dois outros de resposta mais fraca só seriam identificados se estivessem mais afastados. Este é o conceito baseado do critério de Rayleigh.

O termo resolução encontrado no dicionário significa, no contexto deste estudo, o ato ou efeito de separar os elementos constituintes de um corpo. Esta definição corresponde ao uso da palavra quando se diz que uma câmara digital ou monitor tem resolução de 240x320 ou 600x800 elementos.

#### 2.2 Tipos de resolução

Os conceitos de resolução das imagens digitais e as definições não são únicas. Além de serem aplicadas com relação à propriedades espaciais também são usadas para outras características das imagens como as propriedades radiométricas do sensor e quantidade de bandas do espectro eletromagnético disponíveis no sistema.

A resolução espacial ou geométrica do objeto tem relação com as propriedades geométricas do sensor ou do objeto imageado e do método de avaliação usado para medi-la.

A resolução radiométrica refere-se ao intervalo possível de quantificar a reflectância recebida da superfície da Terra, pelos elementos sensores do sistema de imageamento, e convertida para níveis de cinza. É expressa por uma quantidade de bits, normalmente 8 na maioria dos sistemas atuais, o que permite 256 níveis de cinza.

A resolução espectral refere-se à quantidade de faixas, ou bandas, do espectro eletromagnético registradas separadamente pelo sistema imageador. Os sistemas atuais têm normalmente entre 3 e 7 bandas que vão do azul ao infravermelho termal, fora o pancromático que cobre toda a faixa do visível. Normalmente a banda pancromática tem resolução geométrica nominal melhor que as bandas multiespectrais.

Uma discussão completa de todas as formas de resolução foge ao escopo deste trabalho que se restringirá aos aspectos de resolução geométrica.

Existem vários critérios de avaliação de resolução geométrica que foram enquadrados por Forshaw et Al (1980), citados em Cowel (1983), em quatro categorias :

1. propriedades geométricas do sistema de imageamento;
2. a capacidade de distinguir entre os alvos;
3. a capacidade de medir a repetibilidade de alvos;
4. a capacidade de medir a propriedade espectral de objetos finitos.

Na categoria 1 enquadra-se o tipo de resolução mais comum, quando se fazem referências às imagens de satélites óticos. Tecnicamente são conhecidas como a resolução instantânea no nadir do satélite, ou, IFOV (Instantaneous Field Of View). Correspondem ao tamanho da parcela do terreno imageada por um elemento do sensor. Assim dependem da altura da órbita e da distância focal. A medida é feita pelo comprimento em metros do lado da área imageada, normalmente um quadrado. A medida real é quase sempre aproximada para uma resolução nominal. A tabela 1 mostra as resoluções reais e nominais de algumas imagens.

Tabela 1: Resoluções reais e nominais IFOV de alguns satélites

SATÉLITE	RESOLUÇÃO IFOV	
	REAL	NOMINAL
Landsat Tm	26 m	30 m
MSS	79 m	80 m
Spot HRV pan		10 m
MS		20 m
IRS 1C pan	5,8 m	6 m
MS	23,5 m	24 m

Na categoria 2, a habilidade de distinguir entre dois objetos próximos, corresponde ao conceito mais simples de resolução. Em sistemas de formação e transmissão de sinais de comunicação, como os sistemas de radar, é usado o critério chamado de Rayleigh (CCIR, 1995), que define quanto dois pontos de luz podem estar próximos um do outro e ainda serem distinguidos como pontos independentes. As imagens de radar determinam sua resolução por este método e em seguida as converte para o formato digital usando a frequência de Nyquist. A frequência de Nyquist define que uma amostragem deve ser feita com o dobro da frequência limite do sinal de entrada, para que a função original seja reconstruída sem perdas. Isto equivale a ter no mínimo 2x2 pixels para cada elemento de resolução. Portanto uma imagem digital de radar tem um espaçamento entre pixels igual a metade da resolução real, o que é diferente das imagens óticas, que não usam normalmente o critério de Rayleigh.

Na categoria 3, a medida de repetitividade de padrões é o método usado tradicionalmente para definir a resolução de sistemas fotográficos. A figura 1 mostra um exemplo do tipo deste padrão, que é formado por linhas brancas e pretas de mesma largura, com dimensões que vão diminuindo. A resolução é medida numa fotografia deste padrão no ponto em que ainda se pode contar as linhas, antes do contraste ficar indistinguível. O processo completo envolve o cálculo da curva de MTF (Modulation Transfer Function) obtida com a medida em densitômetro dos níveis de cinza do padrão original e da fotografia. Aplicando a transformação de Fourier à MTF consegue-se a Função de Espalhamento, que é a função da imagem de um ponto ideal do espaço objeto. Esta função de espalhamento pode ser facilmente relacionada ao tamanho do pixel e é útil para avaliar o que ocorre com a digitalização de fotografias.

A resolução, neste método, é medida em número pares de linhas por mm (pl/mm). As câmaras fotogramétricas comuns tem resolução em torno de 40 pl/mm e as câmaras mais modernas com FMC (Forward Motion Compensation) e AMC (Angular Motion Control) conseguem atingir 54 pl/mm (Light, 1996). Podemos converter a resolução em pl em medida do terreno. Por exemplo, para uma fotografia na escala 1:10.000:

- 40 pl/mm corresponde a uma linha com largura de 0,0125 mm;

- na escala 1:10.000 mede 0,0125mm x 10.000 = 1,25 m;

portanto nesta resolução poderemos identificar padrões lineares que se repitam com um espaçamento mínimo de 1,25m, desde que tenham um contraste forte.



Fig. 1: Padrão de teste de resolução para filmes e fotografias

Na categoria 4 está a capacidade de medir a resposta espectral de um objeto pelo sensor. A resolução seria dada pelo tamanho mínimo de uma área para a qual um determinado valor de radiancia pode ser atribuído, com variação de até 5% do valor representativo real da mesma. Este tipo de resolução depende da uniformidade da cobertura de uma área, sendo útil para procedimentos de classificação automática de imagens.

### 2.3 Resolução em sistemas de TV

A definição de resolução para os sistemas de TV é feita em termos de linhas horizontais e é importante discuti-la devido à sua relação com a visualização da imagem digital em monitores e similaridades de funcionamento com os sensores óticos eletrônicos de varredura.

Os menores elementos de uma imagem de TV (pixels, no caso de monitores digitais) são reproduzidos nas linhas, portanto a altura do menor elemento da imagem corresponde exatamente a espessura de uma linha horizontal. A quantidade de elementos na linha, o que define a largura do elemento, atende a proporção  $\frac{3}{4}$  (altura / largura). No estudo da resolução considera-se a acuidade visual média dos seres humanos, expressa por um ângulo de visada. Este ângulo varia em função do brilho e com as cores e está entre 1' e 3' (Tresse, 1979). A altura do elemento de resolução pode ser determinado pela fórmula abaixo:

$$x = 2 L \operatorname{tg} (\alpha/2) \quad (1)$$

onde  $x$  = altura do elemento de imagem;

$L$  distância entre observador e a tela, que por conveniência é colocada em termos de altura da tela  $h$ ;

$\alpha$  = acuidade visual média;

Por exemplo, para uma acuidade visual de 1' e distância  $L = 2h$ , sendo  $h$  a altura da tela, teríamos  $x = (1/1719) h$ , isto significa que a tela deve ter 1719 linhas para completar a altura  $h$  e dar ao observador uma ótima imagem. Para a acuidade de 3' daria apenas 573 linhas. Portanto o cálculo da resolução ideal em monitores depende muito de considerações entre uma acuidade visual média e os custos de construção de sistemas de maior resolução (Tresse, 1979).

Para imagens na TV, além da resolução pela acuidade, também deve-se considerar o fator Kell. O olho humano tem dificuldade de resolver elementos cujo tamanho esteja próximo do limite da resolução visual. Nesta situação a visualização ótima é conseguida multiplicando o tamanho do elemento pelo fator de Kell igual a 0,7, considerado o valor pratico mais aceito. A redução do tamanho dos elementos equivale a aumentar a resolução. Testes estatísticos, já com o fator Kell, chegam a resolução ótima de 620 linhas para observadores a uma distância de quatro vezes a altura  $h$ . Esta resolução é bem adequada para um monitor de 17". É até possível calcular para uma imagem de Landsat TM, a escala gráfica da imagem na tela: 620 pixels a 30 m dariam 18.600m, considerando que a altura do monitor de 17" seja igual a 240mm temos uma escala de 1:77.500.

### 2.4 Equivalência das resoluções geométricas

A partir das descrições dos vários tipos de resoluções geométricas discutidas até aqui podemos estabelecer o significado das seguintes expressões, para fins deste artigo:

- são consideradas equivalentes : resolução IFOV nominal, resolução nominal, tamanho do pixel no terreno e espaçamento entre pixels ;
- resolução real : será a dimensão dos menores elementos identificáveis do terreno em uma imagem;
- tamanho do pixel : tamanho físico do elemento sensor CCD ou da área correspondente de uma fotografia digitalizada.
- formato da imagem : quantidade de pixels por linhas e colunas.

### 3. Imagens Digitais obtidas de Digitalização

Enquanto não estiverem disponíveis câmaras fotogramétricas aéreas digitais, com formato igual aos 23x23 cm das câmaras convencionais, será usada intensivamente a conversão analógico/digital (ou digitalização) de negativos e diapositivos, para serviços de restituição e bases de dados de SIG, conseguida com scanners de alta resolução. É importante discutir alguns aspectos do tamanho ideal da amostragem digital, enquanto que uma discussão mais detalhada, da questão da qualidade da digitalização das fotografias aéreas, pode ser encontrada em Light(1996).

Uma das questões fundamentais é a definição do tamanho do pixel da imagem digitalizada, de modo que não haja perda de informações ou que se deteriore a qualidade do original. O trabalho de conversão pode ser especificado pelo tamanho de cada elemento captado da fotografia em microns ou por DPI (Dots Per Inches). Os cálculos do tamanho ideal podem ser conduzidos de maneira ligeiramente diferente, mas os resultados obtidos são praticamente os mesmos. A seguir serão mostrados alguns destes cálculos.

Uma fotografia com resolução , de 40 pl/mm (1 pl = 25 µ) , por exemplo, ao ser convertida sem perda de informação significativa, usando-se o critério de Nyquist., deve ter o pixel em questão medindo no mínimo  $25,0\mu / 2 = 12,5\mu$ . Aplicando-se em seguida o Fator de Kell de 0,7 ficaria com:  $0,7 \times 12,5 \mu = 8,75\mu$ . Este cálculo segue as ponderações de Light(1996) que, no entanto, apresenta o Fator de Kell como um divisor de valor igual a  $\sqrt{2}$ . Usando diretamente para pl uma amostragem de 1/3 como recomenda Bähr(1991) o tamanho do pixel seria 8,3 µ; valor que não difere muito do anterior. Assim o tamanho do pixel poderia variar entre cerca de 9 e 13µ.

O cálculo do tamanho do pixel ainda pode ser realizado por outro modo como em Kolbl & Bach (1996). Estes autores partiram de resultados de estudos de medição da função de espalhamento das fotografias que são 20 a 25µ para filmes P&B e de 30 a 35µ para filmes coloridos. Depois consideram que o pixel na imagem analógica deve ter a metade da medida da função de espalhamento. Porém o aspecto importante que salientam é que a qualidade do scanner não deve reduzir e prejudicar a performance da amostragem. Isto é, a função de espalhamento do scanner deve ter o mesmo tamanho do pixel. Infelizmente mesmo os scanners tipo fotogramétricos testados por eles apresentaram função de espalhamento que variaram de 1,5 a 2,0 do pixel.

Na prática é comum a digitalização com resolução maior que os 9 ou 13µ calculados acima, como 25µ (corresponde a 1000 DPI), desde que sejam satisfeitas as necessidades da aplicação da imagem e ao mesmo tempo se reduza o problema com o tamanho dos arquivos gerados, que cresce em progressão geométrica. Com resolução de 25µ uma fotografia 23 x 23 cm a 8 bits/pixel já resulta em um arquivo de 84,64 Mb; com 13µ passa para 313,01Mb.

### 4. Resolução Geométrica e a Identificação de Objetos

A definição da resolução geométrica nominal mínima para atender a uma aplicação em cadastro não é simples, porque depende de vários fatores como: escala do produto final e objetivo da aplicação; características do terreno como contraste da paisagem e relevo; concepção do projeto do sistema de imageamento, como tipo e tamanho dos elementos sensores e capacidade de imageamento estereoscópico (Schiewe, 1995). A resolução radiométrica também é muito importante na identificação de objetos, como salientam Thom & Jurvillier (1997), porém fica fora do controle do usuário comum porque as imagens são fornecidas normalmente com 8 bits/pixel e nem todos podem desenvolver um sistema de imageamento próprio com mais níveis de cinza. Por isto a discussão aqui apresentada está longe de esgotar o assunto.

A imagem digital em si não tem escala, ao contrário dos produtos cartográficos analógicos aos quais estamos acostumados, e portanto é essencial que o usuário disponha de outras informações para avaliar precisão e qualidade geométricas. É necessário então saber qual o tipo de resolução e correções que sofreu (imagens de satélites) ou escala da fotografia original (fotografias digitalizadas), além dos formatos da imagem e dos arquivos. As imagens de radar , especialmente, deveriam informar sempre a resolução real e o espaçamento entre pixels.

As imagens de satélites óticos até recentemente não tiveram um emprego intensivo na geração de cartas com finalidades cadastrais, simplesmente por não terem a resolução adequada às escalas grandes e nem facilidade de obtenção de imagens estereoscópicas. Agora com empresas comerciais e entidades governamentais lançando satélites de alta resolução nominal e capacidade de programação de imageamento com estereoscopia, mais confiáveis que o SPOT, não existirão mais motivos para que as imagens orbitais não possam concorrer com a fotogrametria convencional.

A empresa Orbimage proprietária do OrbView 3, a ser lançado brevemente, oferecerá imagens pancromáticas de 1m de resolução e MS de 4m, suficientes para a identificação de casas, automóveis e aviões (Orbimage, 1998). A empresa EarthWatch proprietária do EarlyBird, lançado em 24 dezembro de 1997, que infelizmente não entrou em operação, prometia imagens pan de 3m e MS de 5 suficientes para a identificação de prédios, estradas, pontes e outras obras de infraestrutura (Digitalglobe, 1998).

Neste contexto é importante estudar e encontrar fórmulas simples capazes de relacionar a resolução nominal destas imagens ofertadas, com os aspectos de interesse direto do usuário para cadastro, que são: precisão e escala.

#### 4.1 Relação resolução/precisão

Para a relação resolução/precisão são usadas fórmulas adaptadas da fotogrametria convencional para imagens digitais. Schiewe (1995) apresenta as fórmulas para estimar o nível de precisão cartográfico planimétrica e altimétrica.

O desvio padrão teórico de medição planimétrica em uma imagem digital, de vários pontos é dado por:

$$S_h = (h / f) S_{xy} = p P_t \quad (2)$$

onde:

$S_h$ , desvio padrão de medição planimétrica;

$h$ , altura do voo

$f$ , distância focal

$S_{xy}$ , precisão da leitura na imagem;

$P_t$ , dimensão do pixel no terreno;

$p$ , valor empírico entre 0,5 a 0,9 do valor de  $P_t$

Tomando como exemplo um imagem TM do Landsat com  $P_t= 30,0m$  a precisão planimétrica varia de 15,0 a 27,0m.

A precisão altimétrica é dada pela fórmula :

$$S_v = (h / f) \cdot (h / b) \cdot S_{px} = (h / b) \cdot P_v \cdot P_t \quad (3)$$

onde:

$S_v$ , desvio padrão da medição altimétrica ;

$b$ , comprimento da base ( distância entre os centros das duas imagens);

$S_{px}$ , desvio padrão da determinação da paralaxe em X;

$P_v$ , corresponde em ambiente estereoscópico a valores de 0,3 a 0,8 do pixel.

Por exemplo, para uma fotografia digitalizada com pixel de 25µ, escala 1:8.000, base de 736m; altura do voo  $h = 1224m$  e distância focal  $f = 153mm$  a precisão altimétrica  $S_v$  varia de 0,15 a 0,40m

#### 4.2 Relação resolução/ escala

A relação de resolução e escala do produto cartográfico tem muita importância na identificação de feições no terreno e na conseqüente possibilidade de definir quais as maiores escalas possíveis de serem obtidas.

A identificação de feições de interesse para o cadastro como casas prédios e ruas depende de muitos fatores, como dimensões e contraste. Devido a este fato não existe uma fórmula geral, mas apenas algumas indicações, como as feitas por Schiwe(1995) e Konecny(1996).

Schiwe (1995) recomenda que a resolução  $P_t$  da imagem deve obedecer a regra :

$$P_t \leq ( 0,2 \text{ mm} \times \text{fator de escala} ) \text{ AND } (P_t \leq 5\text{m} ) \quad (4)$$

Aplicando esta fórmula para definir a resolução necessária para uma carta cadastral urbana na escala 1:2.000 encontramos  $P_t = 0,40\text{m}$ . Para cartas de cadastro rural nas escalas de 1:10.000 e 1:25.000 teríamos  $P_t = 1,0\text{m}$  e  $P_t = 3,0\text{m}$  respectivamente.

Estes valores combinam com os propostos por Konecny(1996) para feições específicas apresentadas abaixo:

- prédios e caminhos :  $P_t \leq 2,0\text{m}$ ;
- estradas secundárias e rios :  $P_t \leq 5,0\text{m}$ ;
- estradas principais e blocos de prédios :  $P_t \leq 10,0\text{m}$ ;

Konecny(1996) ainda propõe uma relação direta aproximada entre resolução nominal e escala da carta, apresentada na tabela 2.

**Tabela 2 : Proposta de relação resolução no terreno/escala ( Konecny , 1996)**

RESOLUÇÃO NO TERRENO	ESCALA
1-2 m	1:10.000
3-5 m	1:25.000 a 1:50.000
5-10 m	1:50.000

A partir das relações propostas apresentadas acima podemos sugerir uma relação simples para relacionar escala e resolução:

$$\text{Fator de escala} = P_t \cdot 10.000 \quad (5)$$

Com a fórmula acima podemos gerar a tabela 3 para alguns tipos de imagens.

**Tabela 3 : Escalas máximas que podem ser obtidas de imagens digitais conforme a resolução nominal**

TIPO DA IMAGEM	RESOLUÇÃO $P_T$ (m)	MAIOR ESCALA
fotografias digitalizadas 1:8.000 a 25 $\mu$	0,2	1:2.000
fotografias digitalizadas 1:2.000 a 25 $\mu$	0,5	1:5.000
OrbView-1	1,0	1:10.000
EarlyBird 3	3,0	1:30.000
IRS 1C	6,0	1:60.000
SPOT	10,0	1:100.000
Landsat TM	30,0	1:300.000

Os valores da tabela 3 mostram que a fórmula 5 é apropriada para as escalas grandes mas pode ser pessimista para as pequenas e médias, principalmente se as imagens forem usadas para atualização. Na literatura encontram-se exemplos de uso de imagens de satélites para atualização de mapas com escalas duas a tres vezes maiores. As imagens TM do Landsat são usadas com frequência para atualização de cartas nas escala 1:100.000 do sistema viário principal e perímetros urbanos (Santos C. J. B; et Al, 1995; Dixon-Gough, 1995). Com imagens do SPOT consegue-se atualização e confecção de cartas imagens na escala 1:50.000 (Rosenhalm,1996). Dixon-Gough (1995) relata que cartas de 1:100.000 geradas com imagens SPOT de resolução de 10m, não apresentaram diferenças das cartas obtidas de fotografias igualando-se em 100%, mas que detalhes de cartas na escala 1:50.000, como as menores estradas e caminhos só chegaram a 24%.

A resolução e a identificação de feições deve ser discutida também pelo aspecto das reais necessidades do cadastro. É comum em especificações de serviços para cadastro, ser exigida a representação de detalhes relativamente pequenos, que na maioria das vezes não serão utilizados, tais como o posicionamento de árvores, postes e poços de visita, em plantas destinadas à cobrança de impostos prediais. Estes detalhes ainda são incompatíveis com a melhor resolução de 1m para imagem de satélite.

#### 4.3 Identificação de feições para Cadastro

Na análise da identificação de feições naturais ou artificiais do terreno em imagens digitais é muito nítida a maior ou menor facilidade de interpretação devido à forma, se é isolado ou linear, e se o contraste de cores entre o objeto/fundo é alto.

A identificação de feições constituídas por objetos isolados ou áreas uniformes do terreno, quando suas dimensões são próxima da resolução nominal, é difícil. Na maioria dos casos o objeto não tem como ser diferenciado de um "ruído". A identificação apenas se torna possível, com certa facilidade, a partir de dimensões que cobrem cerca de quatro pixels. Isto pode ser confirmado nas simulações mostradas na seção 5.1 e nos resultados conseguidos por Loch(1986), no monitoramento de propriedades rurais e Townshend (1980) citado em Colwell (1983) com imagens do Landsat de resolução nominal de 30 e 80m respectivamente.

As imagens de alta resolução (de 1 a 5 m) , devem atender as expectativas do mapeamento em escala grande porque as feições de maior interesse do cadastro urbano, que são casas e prédios, além das ruas e limites de lotes, têm dimensões compatíveis com aquelas resoluções. No entanto, mesmo imagens com resolução de 1m, ou melhor, não servem para medição das áreas destes imóveis, pois a situação não muda muito em relação aos produtos derivados da aerofotogrametria., onde as medidas reais de construções são alteradas pelos beirais dos telhados das mesmas. De qualquer forma a relevância dos mapas cadastrais obtidos com aerofotogrametria é sua grande utilidade em posicionamento (coordenadas aproximadas num sistema de referência local ou nacional) e topologia das áreas ocupadas pelos imóveis (quem é vizinho de quem). Nestes casos o mapa cadastral necessita sempre da complementação através de levantamentos terrestres.

Ao contrário de objetos isolados, a identificação de feições lineares é mais fácil. Com contraste de médio a forte com a vizinhança e mesmo com largura muito menor que a resolução do sensor, podem ser muito bem identificadas estradas e rios nas imagens do Landsat e até fios de alta tensão em imagens de resolução de 72cm (Thom & Jurvillier, 1997). Esta característica das imagens digitais de identificar feições lineares com largura da ordem de décimos do pixel, desde que tenham um bom contraste, é conhecida a muito tempo nas imagens de resolução baixa como são as do Landsat e foram percebidas nos estudos em fotografias de grande altitude que precederam o lançamento do primeiro satélite da série ( Ratzlaff, 1971). Esta característica nas imagens digitais de alta resolução é útil para o cadastro urbano em escala grande porque facilita a identificação de cercas e muros, que têm largura muito pequena e grandes edificações. Com a ajuda das diferenças de uso do solo entre os lotes, que têm reflectâncias diferentes, a identificação é ainda mais facilitada.

A resolução e a identificação de feições deve ser discutida também pelo aspecto das reais necessidades do cadastro. É comum em especificações de serviços para cadastro, ser exigida a representação de detalhes como árvores, postes e poços de visita, em plantas destinadas à cobrança de impostos prediais. Estes detalhes são incompatíveis com a melhor resolução de 1m para imagens de satélites.

#### 5. Análise de alguns Exemplos

Serão mostrados alguns exemplos de imagens digitais para análise da identificação de feições simples. As imagens simulando situações especiais e algumas resoluções foram feitas com uma câmara amadora digital Casio QV-10, com formato 280x320 pixels. Naturalmente se forem usadas técnicas de processamento de imagem podem ser retiradas outras informações que não são

possíveis pela visão humana direta, mas estes exemplos servem para dar uma idéia das possibilidades e limitações de alguns tipos de imagens mais comuns.

### 5.1 Exemplo 1: Campo simulado de objetos uniformemente distribuídos

A identificação de objetos isolados cujas dimensões se aproximem da resolução nominal dificilmente pode ser feita numa imagem digital. Com a finalidade de mostrar que esta dificuldade continua quando objetos isolados se repetem, com no caso de um conjunto habitacional, foi realizado um teste a partir de um padrão de textura mostrado na figura 2a. Nesta figura existem quadrados de tres tamanhos diferentes que do menor para o maior vão duplicando de lado, e cujos espaçamento e dimensões laterais são iguais. Para conseguir a imagem da figura 2b foram feitas várias tentativas, até obter uma coincidência aproximada de paralelismo e dos menores quadrados do alvo, com a matriz de sensores da câmara. Na figura 2b nota-se que apenas em casos de coincidência, condição muito pouco provável de ocorrer na prática, é possível identificar pontos isolados e que de outra forma, como no canto esquerdo da imagem, os pontos ficam borrados. A figura 2c seria a condição normal de um imageamento onde a matriz de sensores não é paralela ao padrão de textura do objeto.

Pelas figuras 2b e 2c verifica-se também que somente a partir de uma resolução equivalente a 2x2 pixels por quadrado (critério mínimo de Nyquist) é que se consegue a separação de objetos, sendo melhor a resolução equivalente a 4 x 4 pixels. Deve-se ressaltar que a figura usada tem alto contraste.

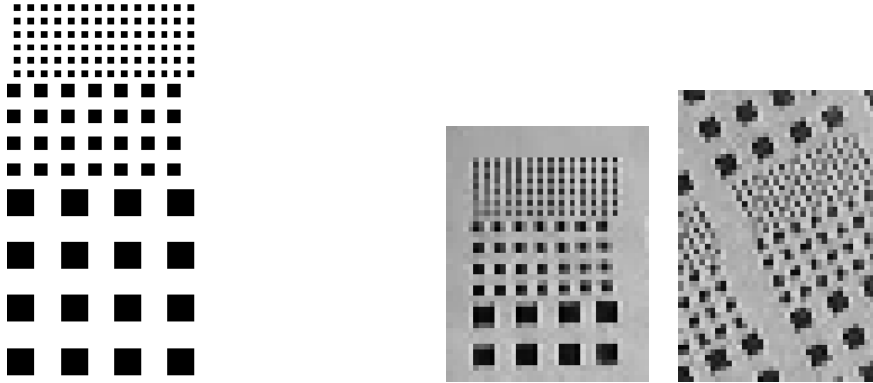


Fig. 2a/b/c: Simulações de imagens digitais variando a quantidade de pixels por quadrado imageado

- a) alvo padrão
- b) imagem com coincidência aproximada entre pontos do alvo e elementos da matriz de sensores
- c) imagem numa situação mais próxima da realidade

### 5.2 Exemplo 2: Imagem simulada com resolução no terreno de 1,0m

A imagem mostrada na figura 3 foi obtida de uma maquete na escala 1:500 usada no Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas da UFPR para simulações de vôos aerofotogramétricos. A tomada da imagem foi calculada de modo que um pixel tivesse o equivalente a 1,0m de resolução nominal. Na imagem mostrada na figura 3 é possível identificar muito bem as casas com dimensões como 7x7m e até linhas do campo de futebol, que medem em escala o equivalente a 25cm (1/4 da resolução nominal), mas que estão bem nítidas, por serem feições lineares com alto contraste com o fundo.



Fig. 3: Imagem simulada com resolução de 1,0m no terreno

### 5.3 Exemplo 3: Imagem de fotografia digitalizada na escala original de 1:6.000

A figura 4a mostra uma fotografia aérea tomada pela empresa ESTEIO S/A para a UFPR, de área próxima ao Centro Politécnico em Curitiba na escala 1:6.000, digitalizada a 25µ em scanner fotogramétrico. Esta resolução no terreno é de 15cm mas com as considerações do Critério de Nyquist, permitiria identificar objetos isolados na fotografia que correspondam a 30cm. A figura 4b mostra uma ampliação de trecho da imagem com a menor feição identificável na área, que é a pintura de sinalização da avenida com 10cm de largura.



Fig. 4a: Trecho da Fotografia digitalizada escala 1:6000  
 - [Clicar na imagem para ampliação a 1:1](#) -

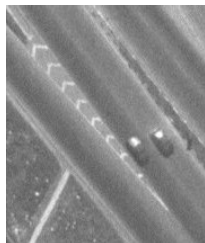


Fig. 4b: Trecho com pintura na pista

## 6. Conclusões

Este artigo fez uma revisão dos conceitos que envolvem a resolução geométrica de imagens digitais, visando as aplicações em cadastro urbano e rural, e propôs uma fórmula aproximada que relaciona a resolução nominal com a maior escala que pode ser conseguida com a imagem.

As fotografias aéreas digitalizadas em scanners continuam sendo as imagens digitais com a melhor resolução para a utilização em mapeamento em grandes escalas, como 1:2.000, usada para cartas cadastrais urbanas. Por outro lado, a iminente disponibilidade de imagens de satélites de alta resolução, como 1m no terreno, já tornam possível sua utilização também no cadastro urbano, desde que as especificações não sejam muito rigorosas quanto ao nível de detalhes a serem mapeados, além de ser perfeitamente adequadas ao mapeamento cadastral de áreas rurais.

As simulações realizadas com imagens digitais, indicaram que a resolução mínima, ideal para identificar objetos isolados com contraste forte com a vizinhança, deve ser da ordem de  $\frac{1}{4}$  do tamanho do objeto a ser imageado.

## 7. Bibliografia

1. AEROSENSING RADAR SYSTEME. **Catálogo da Aero-Sensing Radar Systeme GmbH**. Wesseling, Alemanha. 1997.
2. BAHR, H. P. **Procesamiento Digital de Imágenes**. Universidad de Karlsruhe/GTZ, Eschborn, Alemanha. 429 p. il. 1991.
3. CCRS. **Fundamental Concepts of Imaging Radar: Basic Level**. Pro Radar Project. Canadian Centre for Remote Sensing. Ontario:Canada. 87 p. 1995.
4. COLVOCORESSES, A. P. **Image Resolutions for ERTS, SKYLAB and GEMINI/APOLLO**. Photogrammetric Engineering. v. 38. n. 1. p. 33-35. jan 1972.
5. DIXON-GOUGH, R. W. **Remote Sensing: a Tool for Topographic Mapping. Paste Present and Future**. In: Proceedings of 17 th International Cartographic Conference. Barcelona. 1995.
6. KÖLBL, O; & BACH, U. **Tone Reproduction of Photographic Scanners**. PE&RS. V. 62. N. 6. P. 687-694. Jun1996.
7. KONECNY, G. **International Mapping from Space**. In: 18<sup>th</sup> Congress for PRS: Viena. V. 31. Part B4. P. 465-468. 1996.
8. LIGHT, D. L. **Film Cameras or Digital Sensors ? The Challenge Ahead for Aerial Imaging**. PE&RS v. 62 n. 3. P. 285-291. Mar 1996.
9. LOCH, C. **Monitoramento Global Integrado de Propriedades Rurais a nível Municipal Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto**. Tese de Doutorado. Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal, UFPR: Curitiba, 1988.
10. SLAME, C. C (Ed). **Manual of Photogrammetry**. 4ª edição.. American Society of Photogrammetry. 1056p.. 1980.
- 11.. COLWELL, R. N. (Ed). **Manual of Remote Sensing**. 2ª edição. American Society of Photogrammetry. V.1. 1232 p.. 1983.

12. ORBIMAGE. **Orbview 3**. Disponível na Internet no endereço: <http://www.orbimage.com/orbview3.html>. Arquivo capturado em 17.02.1998.
13. RATZLAFF, J. R. **The Factor of Resolution in Land Use Studies from Orbital-Acquired Imagery**. In: Technical Papers of 37<sup>th</sup> Annual ASP Meeting. American Society of Photogrammetry. mar 1971.
14. ROSENHOLM, D. **Applications of Space Imagery in the Developing Countries**. In: 18th Congress for PRS: Viena. V. 31. Part B4. P. 704-715. 1996.
15. SANTOS, C. J. B; ET AL. **Atualização Cartográfica em base Digital Utilizando Imagens Orbitais e produção da Carta Imagem Salvador, Escala 1:100.000**. In XVII Congresso da SBC: Salvador. 1995.
16. SCHIEWE, J. **Cartographical Potential of MOMS-02/D2 Image Data**. In: Photogrammetric Week '95. Heidelberg: Ed. Fritsch/Hobbie, Wichmann. P 99-105. 1995.
17. SILVA, D. C., DALMOLIN, Q. **Expectativas com os Satélites Comerciais de Alta Resolução para Mapeamento**. In : Coletânea do Seminário Impacto da Novas Tecnologias na Engenharia Cartográfica. UNESP, Presidente Prudente: jul 1997.
18. THOM, C; JURVILLIER, I. **An Aerial Digital Frame Camera for Photogrammetry: Radiometric Comparison with Scanned Imagery**. Geomatica : Canada. V. 51. N. 2. P. 133-141. 1997.

**Avaliação da Resolução de Imagens Digitais para Cadastro**

Eng. Msc. Daniel Carneiro da Silva • Prof. Dr. Quintino Dalmolin



Fig. 4a: Trecho da Fotografia digitalizada escala 1:6000