

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Expansão da Ocupação Urbana de Gramado: Estudo de Caso da Aplicação de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato e SIG

Cláudio Wilson Mendes Júnior, Ricardo Norberto Ayup-Zouain

Pesquisas em Geociências, 31 (2): 3-14, set./dez., 2004.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/19570>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos

UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - set./dez., 2004.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Expansão da Ocupação Urbana de Gramado: Estudo de Caso da Aplicação de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato e SIG

CLÁUDIO WILSON MENDES JÚNIOR¹ & RICARDO NORBERTO AYUP-ZOUAIN²

¹ Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia,
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15044, CEP 91501-979,
Porto Alegre, RS - Brasil. e-mail: geoclaudio@yahoo.com.br

² Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001,
CEP 91509-900, Porto Alegre, RS - Brasil

(Recebido em 10/03. Aceito para publicação em 09/04)

Abstract - Small format vertical aerial photographs were obtained from non metric cameras on small size airplanes, in 1999, and aimed to update a set of six digital cadastral maps from 1984, in the scale of 1:5,000, covering the urban area of Gramado county, located at the northeast region of the Rio Grande do Sul state, Brazil. The photographs were digitized, stored and georeferenced in a Geographic Information System. Afterwards, the perimeters of the new buildings and the boundaries of the urban area districts were digitized on the digital cadastral maps. The updated data of the cadastral maps were elaborated with the purpose to generate thematic analysis and can't be used for the accurated measure of the mapped buildings. The polygons of the buildings were topologically structured by application of GIS, allowing the automatic generation of a centroid to each mapped building. The database query allowed the evaluation of the total number and the localization of the centroids of the buildings, for both date studied. The recorded data were represented by thematic maps of urban occupation expansion, in the scale of 1:25,000. Based on the data obtained, a 164.6 % increase of the total number of buildings was observed, as well as the occupation expansion towards the SE region of the urban area, caused by the major growth of the secondary sector and the major number of new developments in the meridional urban area, that occurred during the past 15 years. Through the interpretation of geographical data, recommendations were proposed for the urban planning of Gramado county.

Keywords - small format aerial photographs, cadastral maps, GIS.

INTRODUÇÃO

Devido suas competências constitucionais e responsabilidades sociais, as prefeituras devem organizar e manter atualizadas diversas bases de dados. Dentre os inúmeros produtos do Sensoriamento Remoto, as fotografias aéreas de pequeno formato (FAPEF) têm apresentado muito destaque na sua aplicação. Estes produtos fotográficos podem ser obtidos com um planejamento baseado nas variáveis envolvidas em um levantamento aerofotogramétrico convencional, caracterizando-se pelo seu baixo custo e pela possibilidade de se obter informações com grande resolução temporal, espacial e radiométrica. Dentre suas inúmeras aplicações, estes produtos podem ser aplicados como fontes de dados para o reconhecimento expedito de alvos e para o mapeamento temático. Posteriormente, os dados digitalizados podem ser armazenados, manipulados e analisados em um sistema computacional, por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

No presente estudo, aplicaram-se técnicas de obtenção e georreferenciamento de FAPEF, obtidas através de câmera fotográfica não-métrica a bordo de aeronave de pequeno porte, no ano de 1999, com o objetivo de se atualizar um conjunto de seis plantas cadastrais digitais de 1984, na escala 1:5.000, cobrindo a área urbana do município de Gramado, RS. Os dados obtidos foram então utilizados para o estudo da expansão da ocupação urbana do município em questão e, através da interpretação dos dados geográficos, foram elaboradas recomendações para o planejamento urbano local.

ÁREA DE ESTUDO

O município de Gramado, situado na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, localiza-se entre as latitudes 29°18' S e 29°31' S e as longitudes 50°48' O e 51°00' O (Fig. 1), abrangendo uma área de aproximadamente 245,3 km².

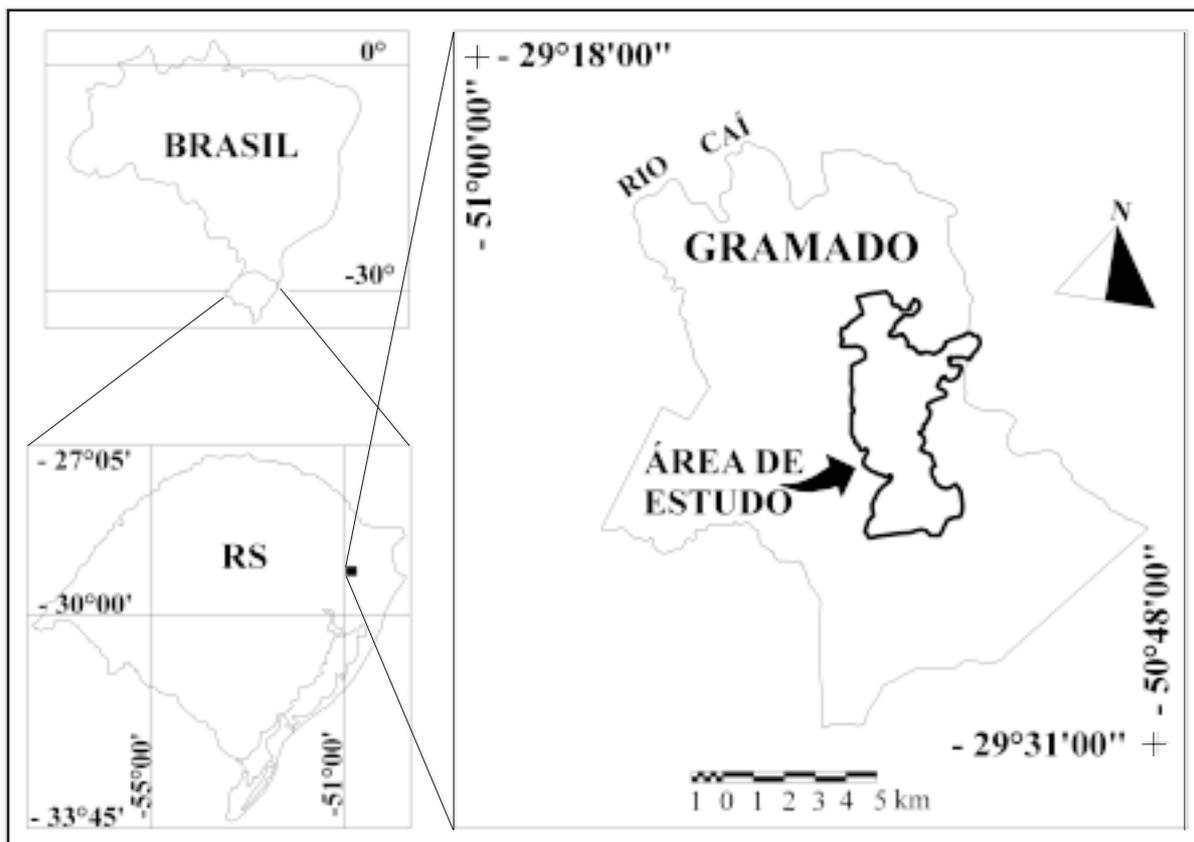


Figura 1 - Localização da área urbana do município de Gramado, RS.

Conforme o Projeto Radam Brasil (IBGE, 1986), a área de estudo situa-se na Encosta Inferior do Nordeste, no Planalto Sul-rio-grandense, na região das Hortênsias, a 850 m acima do nível do mar. Localiza-se em terrenos originados pela decomposição de rochas vulcânicas ácidas (rochas riolíticas), pertencentes a Formação Serra Geral, caracterizados por um relevo fortemente festonado e dissecado.

O município apresenta como principal atividade econômica, a promoção turística, exercendo influência decisiva na renda gerada pelos setores de serviços, comércio e indústria. Integrante de uma área de colonização européia (alemães e italianos), possui as características próprias de áreas coloniais congêneres, isto é, preponderância da pequena propriedade e da policultura de subsistência.

O presente estudo tem como objetivo abordar a expansão da ocupação da área urbana de Gramado, a qual perfaz uma área de aproximadamente 29,5 km², representando 12% da área total do município. Apesar de suas reduzidas dimensões em relação à área total do município, é a região onde ocorre maior dinâmica de crescimento, caracterizada tanto pela expansão dos seus limites físicos, quanto pela sua alta

concentração demográfica, que representa 83% de toda a população gramadense (IBGE, 1996).

METODOLOGIA

A metodologia de obtenção de FAPEF teve como referencial teórico estudos desenvolvidos por Disperati (1991), bem como artigos publicados em periódicos especializados no assunto. Dado que a referida metodologia é similar à utilizada nos levantamentos aéreos convencionais, foram consultadas publicações referentes à aerofotogrametria, como o *Manual of Photogrammetry*, além de trabalhos de autores como Ricci & Petri (1965), Wolf (1974), Garcia (1977), Loch (1994), Lillesand & Kieffer (1994), Andrade (1998) e Olivas (1999).

Com relação à obtenção das FAPEF, foram necessários primeiramente o levantamento das informações cartográficas, a determinação dos equipamentos utilizados e o planejamento e execução do recobrimento aerofotográfico.

A área de estudo pode ser localizada em um conjunto de seis plantas cadastrais digitais, na escala de 1:5.000, componente do levantamento

sistemático regional, com informações referentes ao cadastro de 1984.

A câmera fotográfica utilizada foi uma *Canon EOS-5000*, com uma objetiva de ângulo normal e regulada para 50 mm de distância focal, que possui *motor-drive*, *auto-focus* e *shutter-priority* (abertura de diafragma automático). Cumpre observar que foi acoplado à objetiva da câmera fotográfica um filtro do tipo *Skylight*, o qual impede a entrada dos raios ultravioleta na lente, de maneira a eliminar o indesejado efeito da névoa, comum nas fotografias aéreas.

Com relação ao filme fotográfico, optou-se pelos negativos coloridos, de média sensibilidade (100 ASA), armazenados em rolo, com um número de 36 exposições, facilmente encontrados em qualquer loja de equipamentos fotográficos.

Para a execução dos levantamentos aerofotográficos foi utilizado um suporte de câmera fotogrâ-

fica que permitiu obter fotos verticais a partir da fuselagem lateral da aeronave, havendo, portanto, a necessidade de se remover uma de suas portas laterais. Este suporte é baseado no modelo criado por Meyer (Meyer & Grunstrup, 1978 *apud* Disperati, 1991), desenvolvido e testado por Zomer (1997).

O suporte de Meyer (Fig.2) é composto por uma unidade de fixação, e uma mesa niveladora para manter horizontal o trilho sobre o qual desloca-se a unidade móvel onde a câmera é fixada, podendo a mesma ser recolhida para troca do filme. Na tomada das fotografias, uma vez que não se dispunha de um intervalômetro para se acoplar ao disparador da câmera fotográfica, foi utilizado um disparador manual. As principais vantagens da instalação externa do suporte são a possibilidade de uso de avião convencional e não modificado para a tarefa (sem abertura de orifício no piso), resultando em um menor custo na etapa de execução do voo.



Figura 2 - Suporte de Meyer, fixado na fuselagem lateral da aeronave.

Quanto ao tipo de aeronave, acoplou-se o suporte de Meyer na fuselagem lateral de uma aeronave convencional: monomotor e asa alta. De acordo com Disperati (1991), os modelos de avião monomotor asa alta, por voarem a velocidades relativamente baixas quando comparados aos aviões mais potentes, permitem o vôo com a janela aberta ou mesmo sem uma ou ambas as portas laterais, além de proporcionar ao piloto e ao fotógrafo a melhor visibilidade lateral do terreno, facilitando a tarefa de supervisão do recobrimento aerofotográfico.

No que diz respeito à etapa de navegação, primeiramente foi elaborado um mapa de vôo, a partir de dados das plantas cadastrais digitais utilizadas. As características das plantas permitiram a eleição de pontos de referência no terreno para apoio ao processo de navegação, monitorado através de Sistema de Posicionamento Global por Satélite (GPS).

No presente estudo, foram obtidas FAPEF do tipo vertical. As FAPEF foram tomadas em linhas de vôo paralelas e com sobreposição longitudinal de 60% e com um valor de 30% para a sobreposição lateral, tendo em vista a observação estereoscópica das fotografias aéreas. Optou-se pela navegação com a maior dimensão do negativo transversal à direção da linha de vôo, uma vez que uma possibilidade de erro no recobrimento por deriva da aeronave poderia acarretar na necessidade de um novo vôo.

Considerando-se que a área de estudo apresenta altitudes médias de 650 m na região meridional e 850 m na região setentrional, para a obtenção de negativos com escala central aproximada de 1:16.000, com uma câmera de distância focal de 50 mm, foram mantidas, respectivamente, as altitudes de vôo de 1.450 m (4.756 pés) e de 1.650 m (5.412 pés).

O recobrimento longitudinal de 60%, a maior dimensão do negativo colocada em posição transversal à linha de vôo e a escala do negativo determinaram uma aerobase com 153,6 m. O intervalo entre duas linhas de vôo, para um recobrimento lateral de 30%, resultou 403,2 m. Por sua vez, a velocidade da aeronave em relação ao terreno foi de aproximadamente 111 km/h (69 mph), tendo em vista um intervalo de tempo entre duas exposições consecutivas representado por um valor inteiro, de 5 segundos.

Outro importante elemento considerado na execução do vôo foi a exposição correta do filme fotográfico, para se evitar possíveis arrastamentos da imagem. Em nosso caso, podia-se utilizar qualquer tempo inferior a 1/38,4s, e optou-se pela regu-

lagem do disparador para um tempo de exposição ainda menor, de 1/250 s.

Para a realização do recobrimento aerofotográfico, foram necessárias 936 fotografias, dado que o número total de faixas de vôo foi de 26, com 36 fotografias sobre cada linha de vôo, aproveitando-se todas as poses de um filme fotográfico comum por faixa recoberta. Para a execução do plano de vôo foi necessário um tempo de aproximadamente quatro horas, havendo, portanto, a necessidade de realização da missão de vôo em duas etapas distintas.

Após a obtenção dos negativos coloridos em formato retangular (24 x 36 mm), na escala 1:16.000, os mesmos foram ampliados para o formato 12 x 18 cm, cuja escala é de 1:3.200 (centro da fotografia aérea). As fotografias ampliadas foram então digitalizadas através de um *scanner* de mesa, com uma resolução de saída equivalente a 0,5 m no terreno.

Uma vez que as informações digitalizadas precisavam ser geocodificadas às coordenadas das plantas cadastrais digitais, foi utilizado um SIG. De acordo com Burrough (1985) e Aronoff (1989), um SIG pode ser definido como um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para coleta, armazenamento, recuperação, visualização, digitalização, consulta, manipulação, análise, simulação e plotagem de dados georreferenciados.

Para o armazenamento e georreferenciamento das FAPEF foram utilizados programas da *Autodesk Inc.*, como o *AutoCAD MAP v.2000*, que opera com funções de SIG em modelos vetoriais, e o *AutoCAD Overlay v.2000*, para o processamento digital de imagens.

Para o georreferenciamento das FAPEF, foram utilizados pontos de controle obtidos a partir das plantas cadastrais, homólogos aos das fotografias aéreas obtidas. A correção geométrica foi obtida através do método denominado de retificação polinomial (Novak, 1992), aplicando-se sistemas de equações de 2^o grau. O método de reamostragem utilizado foi o do vizinho mais próximo, caracterizado pela preservação dos níveis de cinza originais da imagem e pelo menor tempo de computação.

Como nas plantas cadastrais utilizadas (escala 1:5.000, classe A), o Padrão de Exatidão Cartográfica planimétrico definido pela Comissão de Cartografia (1985) é de 2,5 m (distância no terreno), os valores

de erro médio quadrático dos pontos de controle amostrados em uma FAPEF menores do que 2,5 m foram considerados satisfatórios para a reamostragem dos dados, uma vez que o presente estudo não teve como objetivo o cadastro técnico preciso das edificações mapeadas.

Após o georreferenciamento das fotografias, foram criados novos planos de informação nos

arquivos das plantas cadastrais, para a digitalização das novas edificações, no programa *AutoCAD*. Como instrumento auxiliar para a identificação dos alvos estudados, foi utilizado um estereoscópio de bolso para a observação dos estereomodelos. Os contornos das edificações foram digitalizados nas FAPEF georreferenciadas, considerando-se os perímetros dos telhados das edificações (Fig. 3).

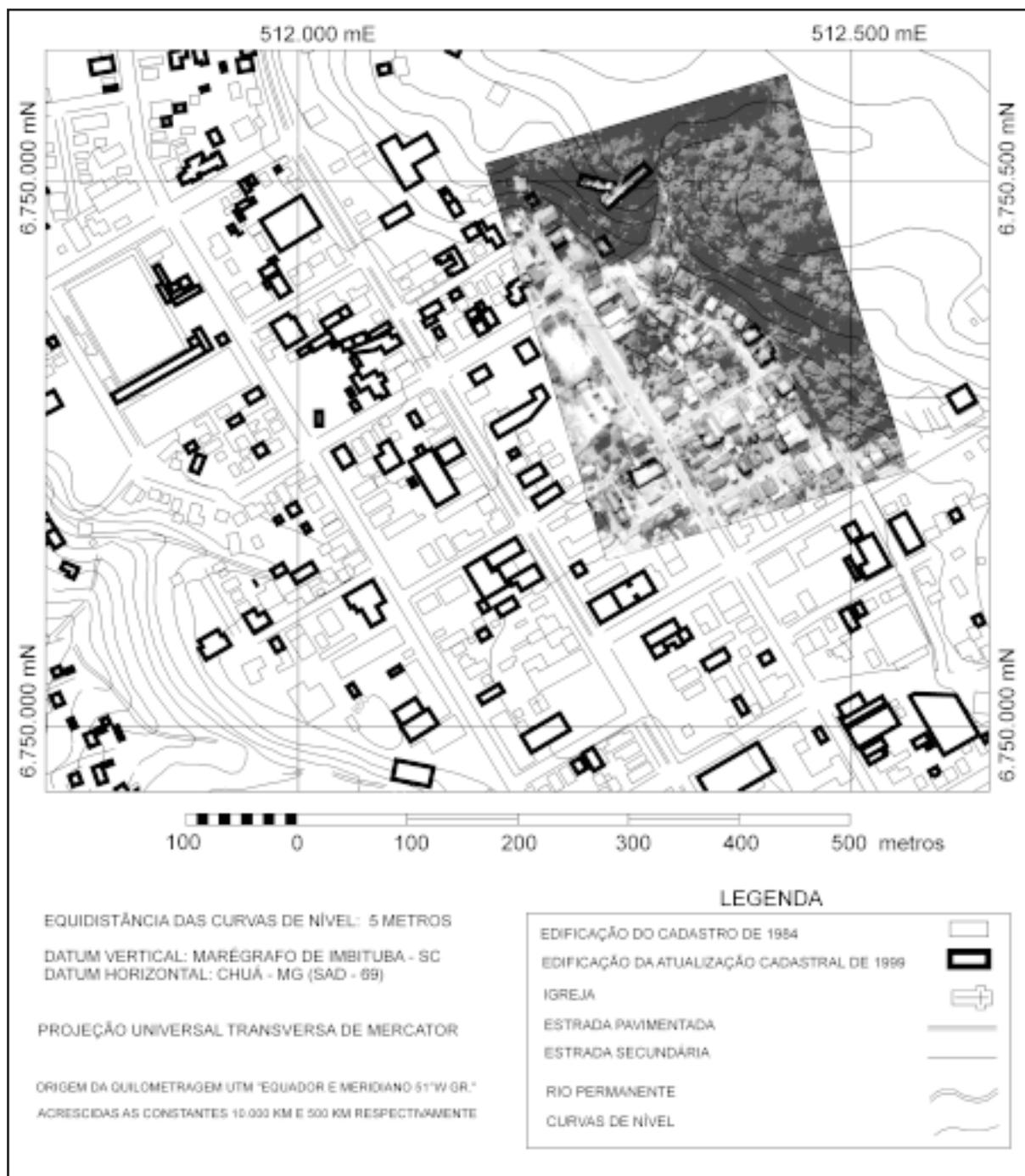


Figura 3 - Mapeamento temático das edificações sobre uma FAPEF georreferenciada.

Após a digitalização das edificações, foi necessário delimitar a área de estudo nas plantas cadastrais, para a posterior consulta ao banco de dados. Cumpre observar que além do estudo da área urbana total, foram analisadas unidades territoriais menores, como os bairros do município, em função da complexidade do processo de evolução da ocupação urbana de Gramado.

Uma vez que os limites dos bairros não estavam representados nas plantas cadastrais, estes foram digitalizados e armazenados em um plano de informação do SIG utilizado, com base na consulta de uma planta de zoneamento, na escala de 1:10.000, referente ao Plano Diretor Municipal, produzida pela Secretaria do Planejamento do Município de Gramado (1999). Na referida planta cadastral, a área urbana do município está dividida em um número de 13 bairros: Mato Queimado, Vila Moura, Dutra, Carniel, Avenida Central, Floresta, Centro, Piratini, Vila Prinstrop, Planalto, Jardim, Três Pinheiros e Várzea Grande (Fig. 4).



Figura 4 - Bairros da área urbana do município de Gramado.

Com o mapeamento temático das edificações e a delimitação dos bairros da área urbana, a próxima etapa consistiu na criação de uma topologia para as entidades representadas (edificações), utilizando-se recursos de um SIG, no *AutoCAD MAP 2000*.

Após a correção da estrutura arco-nó de todas as edificações, foram criadas duas topologias para os polígonos digitalizados: uma para as edificações do cadastro de 1984, e outra para as edificações mapeadas na atualização cadastral de 1999.

A aplicação de uma topologia de polígono para as edificações cria e armazena um banco de dados vinculado aos objetos, além de gerar um ponto localizado na posição central do polígono, denominado de centróide, com valores de área e perímetro relacionados às dimensões da edificação.

Com a topologia de polígono estruturada, pôde-se realizar uma consulta à localização dos centróides, no que diz respeito ao valor de seus atributos (X, Y, Z), sendo X e Y as coordenadas UTM, e Z, o atributo qualitativo, com valores representando as diferentes modalidades de edificações digitalizadas.

Primeiramente, foi selecionado o polígono envolvente de um determinado bairro, como filtragem somente para os dados da área de interesse. Posteriormente, foram consultados os valores das coordenadas dos centróides das edificações do cadastro de 1984 e depois para todas as edificações existentes em 1999, representadas nesta mesma área selecionada. Feita a consulta para cada bairro, foi repetido o mesmo procedimento para a consulta aos centróides presentes em toda a extensão da área urbana.

As consultas ao banco de dados foram exportadas na forma de um relatório, no padrão mais utilizado para codificar dados alfanuméricos: o formato *ASCII (American Standard Code for Information Interchange)*. Posteriormente, este formato foi importado para uma planilha eletrônica (*Excel 97 - Microsoft Corporation*), onde foram calculados separadamente os valores médios das posições dos centróides existentes nas duas datas estudadas, por bairros e para toda a área urbana.

O cálculo dos valores médios das posições dos centróides permitiu localizar o centro de gravidade destas entidades para duas situações temporais: das edificações do cadastro de 1984 e do número total de edificações existentes em 1999, por bairros e para toda a área urbana.

Com relação aos dados produzidos no presente estudo, um dos produtos consistiu em um

mapa temático da evolução da ocupação dos bairros e de toda a área urbana do município de Gramado, com vetores representando as mudanças dos centros de gravidade dos centróides, indicando as direções e magnitudes da expansão da ocupação urbana.

A última etapa da metodologia consistiu na interpretação do mapa temático da evolução da ocupação urbana, além das informações complementares, necessárias para uma melhor compreensão da complexidade do fenômeno estudado.

A interpretação dos vetores da expansão da ocupação urbana teve como apoio os estudos do processo de ocupação da área urbana produzidos por Ferraro (1982), além de informações disponíveis em relatórios da Secretaria do Planejamento de Gramado (1999).

Com a finalidade de examinar qualitativamente as modalidades de edificações presentes nos loteamentos e bairros, foi utilizada uma planta de zoneamento, referente ao Plano Diretor Municipal (1999), na escala 1:10.000, onde estão representadas as zonas de uso residencial, comercial, industrial e para a preservação paisagística.

Com base nos materiais de estudo e a partir de saídas de campo, foram caracterizados e analisados aspectos físicos da área urbana, como relevo, drenagem, corpos d'água e vegetação, além dos fatores antrópicos, como vias de acesso e os loteamentos, partindo-se do entendimento que estes fatores exerceram influência para a mudança dos padrões de ocupação urbana.

A descrição das formas de relevo tornou-se possível a partir da interpretação das curvas de nível cotadas das plantas cadastrais digitais. O conhecimento das declividades das vertentes e dos modelados de relevo é de grande importância para o estudo da ocupação urbana, uma vez que estes fatores podem impedir ou favorecer a evolução da ocupação. Outros fatores importantes para esta análise foram a rede de drenagem, corpos d'água, estradas e caminhos, também representados no conjunto de seis plantas cadastrais digitais atualizadas. Para a localização e caracterização dos padrões de cobertura vegetal, foi utilizado o fotoíndice do levantamento aerofotográfico.

As informações a respeito do espaço físico e antrópico da área de estudo foram fundamentais para a interpretação dos resultados obtidos através do SIG, podendo ser utilizadas como subsídios para o planejamento municipal.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos a partir da consulta ao banco de dados foram o número de edificações existentes por bairro e para a área urbana total de Gramado, para os anos de 1984 e 1999. Com base nestes dados, pode-se calcular o crescimento percentual e a posição dos centróides para as duas datas estudadas, permitindo a determinação da magnitude e do sentido da expansão da ocupação urbana (Tab.1).

Os dados do número total e do crescimento percentual de edificações por bairros, para as duas datas estudadas, podem ainda ser representados por gráficos de barras, conforme as figuras 5 e 6:

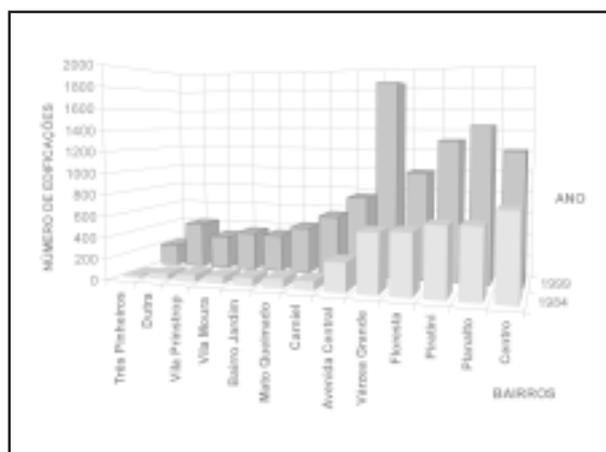


Figura 5 - Número total de edificações dos bairros da área urbana de Gramado nos anos de 1984 e 1999.

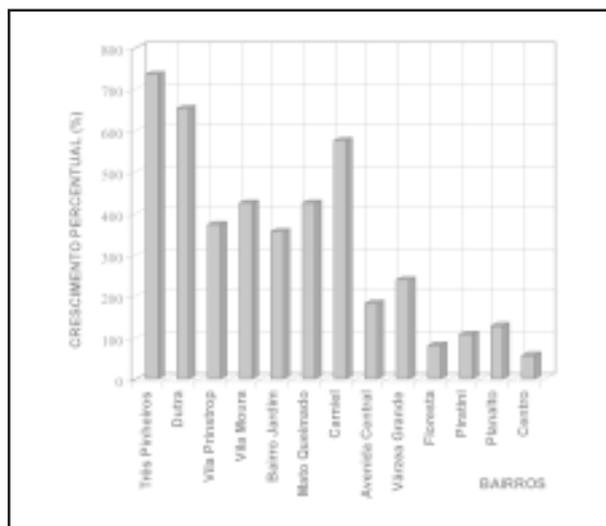


Figura 6 - Crescimento percentual do número de edificações dos bairros da área urbana de Gramado entre os anos de 1984 e 1999.

Além da representação dos dados tabulares por meio de gráficos de barras, outra forma de representação para a evolução da ocupação urbana foi

Tabela 1 - Quantificação, crescimento percentual, magnitude e orientação da expansão da ocupação dos bairros da área urbana de Gramado (1984-1999).

| BAIRRO | Área(ha) | N° de Edificações | | Crescimento Percentual(%) | Vetores de Crescimento | |
|-----------------|------------------|-------------------|---------------|---------------------------|------------------------|-----------|
| | | 1984 | 1999 | | Módulo (m) | Sentido |
| Três Pinheiros | 145,335 | 23 | 192 | 734,78 | 262 | SO |
| Dutra | 52,488 | 57 | 429 | 652,63 | 99 | NE |
| Vila Prinstrop | 171,900 | 65 | 308 | 373,85 | 112,7 | SSO |
| Vila Moura | 86,347 | 69 | 362 | 424,64 | 99 | NNE |
| Bairro Jardim | 21,963 | 77 | 351 | 355,84 | 27 | O |
| Mato Queimado | 437,811 | 83 | 436 | 425,30 | 323 | OSO |
| Carniel | 112,485 | 83 | 561 | 575,90 | 123 | NE |
| Avenida Central | 289,191 | 267 | 752 | 181,65 | 21 | NE |
| Várzea Grande | 722,442 | 543 | 1.844 | 239,59 | 173 | L |
| Floresta | 221,403 | 555 | 1.002 | 80,54 | 120 | NO |
| Piratini | 136,888 | 628 | 1.306 | 107,96 | 87 | O |
| Planalto | 377,621 | 634 | 1.442 | 127,44 | 170 | SO |
| Centro | 172,957 | 772 | 1.216 | 57,51 | 51 | SSE |
| TOTAL | 2.948,831 | 3.856 | 10.201 | 164,55 | 154 | SE |

através de um mapa temático. No mapa temático elaborado (Fig.7) foram representados o número total e o crescimento percentual das edificações, além dos vetores de crescimento, por bairros, durante o período estudado. Neste mapa, o número de edificações pode ser determinado a partir da altura de dois gráficos de barras, um para cada data estudada, enquanto que o crescimento percentual de cada bairro está relacionado a uma escala de cores. Somado a estas informações, podemos visualizar a localização espacial dos centróides nos anos de 1984 e 1999, além de vetores que informam a magnitude e a orientação do crescimento de cada bairro e de toda a área urbana durante este período.

CONCLUSÕES

As vantagens da utilização das câmeras não-métricas de pequeno formato frente aos méto-

dos convencionais com câmeras aerofotogramétricas são o baixo preço e a disponibilidade comercial muito grande das câmeras comuns, com vários tamanhos, acessórios e uso de diferentes lentes e filmes, associado ao baixo investimento de manutenção dos equipamentos e a maior velocidade de obtenção e revelação dos produtos fotográficos.

O tipo de suporte externo, acoplado na fuselagem lateral da aeronave, mostrou-se eficiente para a tarefa de troca dos filmes fotográficos após o término de cada faixa de vôo. Todavia, alguns aspectos negativos podem ser apontados com relação à fixação exterior da plataforma, como a inexistência de sistemas giroestabilizadores para a correção dos movimentos da câmera fotográfica, a restrição quanto ao tipo de aeronave e a redução da aerodinâmica e estabilidade do avião.

Com relação ao georreferenciamento das FAPEF, cumpre observar que o método de retificação

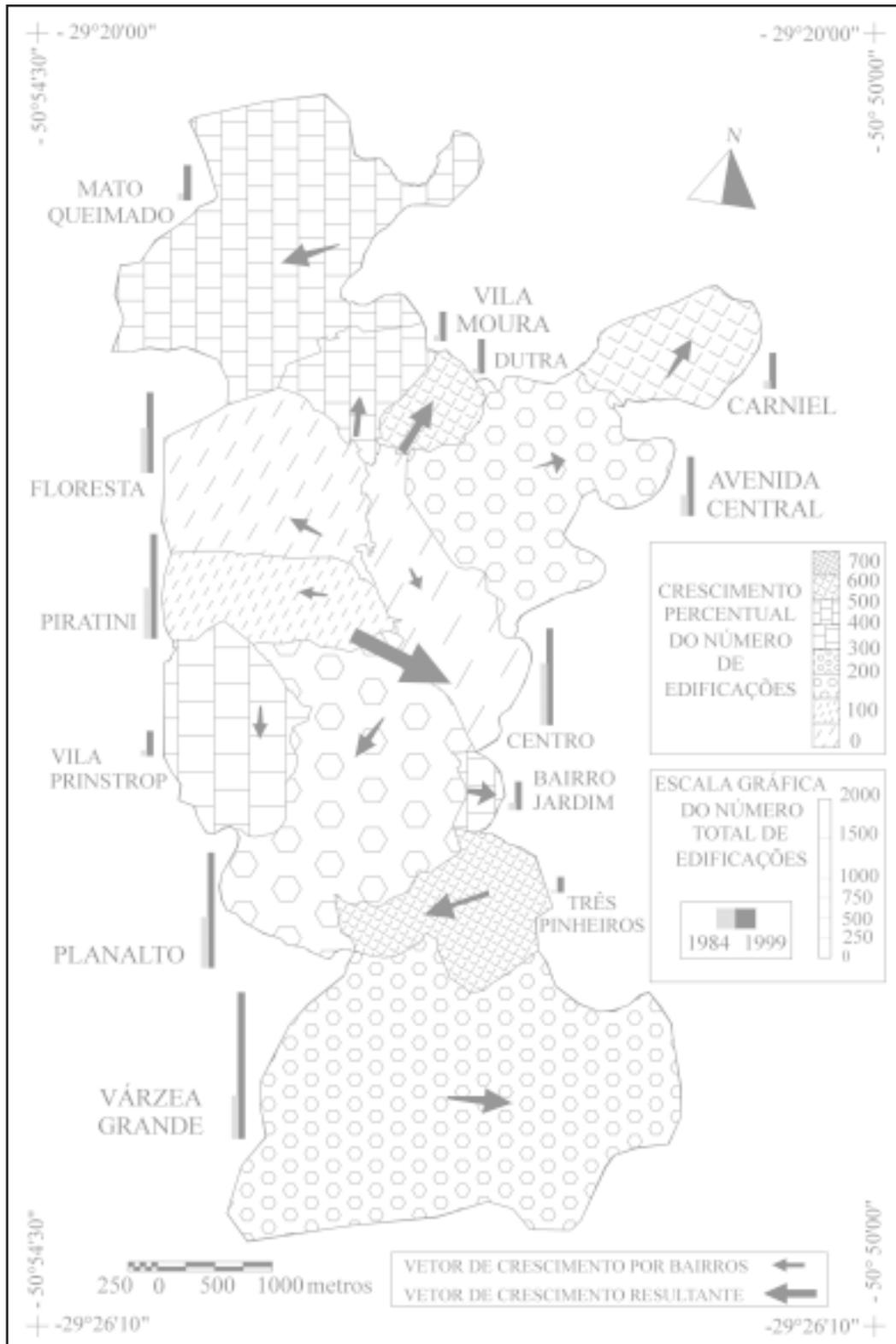


Figura 7 - Crescimento do número de edificações dos bairros da área urbana de Gramado (1984-1999).

polinomial não implicou a transformação da projeção central das FAPEF em uma projeção ortogonal, uma vez que para a produção de uma ortofoto seria necessário o conhecimento dos parâmetros de orientação interna e externa para as equações de projeção fotogramétrica. Em função do desconhecimento destes parâmetros, as FAPEF não podem ser utilizadas para a medição precisa das dimensões dos objetos fotografados, que podem ser medidos com acurácia apenas em fotografias obtidas a partir de câmeras aerofotogramétricas ou a partir de câmeras que possuam certificado de calibração.

A aplicação de uma câmera comum não-calibrada no aerolevanteamento, com a inexistência de um sistema de lentes de alta precisão e de um sistema que garanta a planura dos filmes, somado ao processo de ampliação dos negativos, às deformações do papel fotográfico e a rasterização das fotografias em papel por *scanners* comuns, foram fatores que contribuíram para a distorção da imagem dos objetos fotografados.

Outros fatores também contribuíram para o surgimento de deformações das imagens dos objetos fotografados, relacionados aos movimentos da câmera fotográfica durante a execução do recobrimento. Além destes aspectos, cumpre destacar a influência do modelado de relevo para o deslocamento e variação da escala da imagem, que sofreu maiores influências nas fotografias aéreas tomadas em regiões com um modelado de relevo mais acidentado.

Com relação ao SIG utilizado, suas principais vantagens foram a capacidade de armazenar, manipular e analisar um grande volume de informações, como as mais de 10.000 edificações representadas nas plantas cadastrais, estruturadas topologicamente para as consultas ao banco de dados.

A geração de uma topologia de polígono, além de determinar automaticamente a posição do centróide de cada edificação, tornou possível a criação de um banco de dados relacional, com informações de área e perímetro para todas as edificações. Portanto, uma grande quantidade de informações foi gerada durante um reduzido tempo de processamento, com uma simplicidade de manipulação, alta precisão dos dados e baixo investimento financeiro envolvidos no processo.

Os dados tabulados obtidos indicaram um elevado crescimento percentual do número total de edificações (165%) em um período relativamente reduzido da história recente do município de Gramado, de apenas 15 anos.

Com base no mapeamento temático das edificações, observou-se que a evolução da ocupação urbana ao longo das décadas de 80 e 90 mostrou uma forte tendência de interiorização da ocupação urbana, em função do crescimento centrífugo ou radial partindo do núcleo urbano.

Dentre os fatores que promoveram a repulsão do núcleo urbano, destacam-se a dificuldade de obtenção de espaço para a expansão da ocupação, alto preço das terras, congestionamento do sistema de transportes e comunicações. Por outro lado, os fatores favoráveis para a ocupação das áreas periféricas foram as terras não ocupadas, a baixo preço e impostos, infra-estrutura implantada, possibilidade de controle do uso das terras e amenidades naturais.

Através da intervenção estatal, e principalmente em função dos interesses dos proprietários fundiários e dos promotores imobiliários de expandirem seus negócios, verificou-se a tendência de incorporação de áreas do espaço rural ao espaço urbano, cuja consequência foi o aumento do perímetro urbano durante o período estudado.

Esta tendência de ocupação das periferias da área urbana pôde ser comprovada pelo menor crescimento do núcleo urbano e da região oeste, que são as mais antigas quanto à ocupação. Por outro lado, o processo de ocupação das regiões norte e sul mostrou um crescimento ainda maior durante as décadas de 80 e 90, como verificado no presente estudo.

Com relação à expansão da ocupação da área urbana, sua orientação para a região sudeste pode ser explicada pelo grande desenvolvimento da região sul a partir da década de 80, com a abertura de estradas transversais à estrada de rodagem RS 115 (Figura 4), e posteriormente com a expansão dos setores secundário e terciário, além do surgimento de inúmeros loteamentos nesta região.

A rodovia RS 115 contribuiu consideravelmente para o crescimento da ocupação da região sudeste da área urbana, em função da possibilidade de escoamento da produção e de migração do núcleo urbano para esta região.

A expansão da ocupação para a região sul caracterizou-se pela construção de muitas residências de moradores no bairro Três Pinheiros, que apresentou o maior crescimento do número total de edificações dentre todos os demais bairros da área urbana durante o período estudado. Somado a este crescimento, destaca-se a expansão da ocupação para a região meridional da área urbana, no bairro Várzea Grande, onde se verificou o

maior número de edificações residenciais, de indústrias e de loteamentos existentes na área urbana de Gramado.

O elevado número de residências surgidas após o cadastro de 1984 nos limites extremos da região sul influenciou na orientação do vetor resultante, pois a estimativa da posição dos centróides foi determinada através de um estimador tendencioso, como é o caso da média aritmética.

Quanto ao sentido da expansão da ocupação urbana, destaca-se também a expansão para a região leste, ocorrida principalmente em estradas vicinais ao eixo viário da RS 235, que, por sua vez, permite a comunicação do núcleo urbano com a região nordeste da área urbana, limítrofe ao município de Canela.

RECOMENDAÇÕES

Para organizar a ocupação e evitar o aumento da concentração urbana, a administração municipal deve promover o incentivo à construção de unidades e conjuntos residenciais populares nas áreas urbanas periféricas desocupadas, bem como em áreas do espaço rural. O turismo rural é uma das alternativas de promover o crescimento através da circulação do capital nestas áreas, favorecendo o surgimento de empregos e a permanência e migração de famílias para o espaço rural.

Através das medidas de contenção da concentração urbana, a administração municipal desfavorece a especulação imobiliária, a formação de ocupações irregulares, o congestionamento do transporte viário e o aumento dos impactos ambientais, como a poluição atmosférica e dos mananciais hídricos, o aumento dos resíduos sólidos no ambiente, bem como o desmatamento da cobertura vegetal.

As autoridades municipais devem impedir a implantação de loteamentos em terrenos com elevada declividade, devendo estabelecer condições especiais que venham a dar segurança para as construções, fixar diretrizes que evitem a erosão e que possibilitem o trânsito adequado de pedestres e veículos. Ainda, devem restringir o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações e cujas condições geológicas são impróprias para a construção de edificações, bem como em terrenos localizados nas áreas de preservação ecológica, protegidas por lei.

A fiscalização dos recursos naturais e das obras municipais pode ser assessorada por meio da utilização das FAPEF. Por exemplo, as altas resoluções espacial e radiométrica destes produtos foto-

gráficos permitem o reconhecimento de construções clandestinas e de edificações que não respeitaram o projeto de construção aprovado pela prefeitura, e assim podem ser utilizadas como provas concretas de possíveis irregularidades das ocupações.

Como medida para tornar as FAPEF geometricamente mais precisas para o mapeamento cadastral, deve-se submeter a câmera fotográfica a um processo de calibração antes da execução do aerolevantamento, para se determinar os valores exatos dos elementos de orientação interna, como por exemplo as marcas fiduciais, necessárias para uma restituição das FAPEF. Outra forma de controle das deformações dos produtos fotográficos é a implantação de um “*reseau*” (Andrade, 1998) para a correção da deformação e da não-planura do filme fotográfico. Para diminuir os movimentos da câmera durante a tomada das FAPEF, que provocam o arrastamento da imagem dos objetos fotografados, recomenda-se a construção de uma plataforma giroestabilizada, que permita, sobretudo, o recolhimento do filme fotográfico após a execução de cada faixa de voo.

No que diz respeito ao planejamento da área urbana do município de Gramado, recomenda-se que o cadastro técnico esteja vinculado à implantação de um Sistema de Informações Geográficas. Através de um SIG, torna-se possível o controle efetivo da complexidade dos aspectos físicos e antrópicos do território, através do armazenamento e cruzamento de planos de informação, que podem ser compartilhados por redes locais ou remotas. Através da consulta ao banco de dados, pode-se obter automaticamente relatórios, estatísticas e mapas com informações geocodificadas, que podem ser manipuladas por meio de modelos matemáticos para a simulação de situações futuras.

A otimização da arrecadação e a construção de um novo conceito gerencial baseado na informação espacial são os principais benefícios obtidos pela implantação do SIG associado ao cadastro técnico municipal. Além disso, é possível a redução de custos operacionais, redução de prazos, otimização do trabalho de pessoal e aumento de produtividade.

Considerando-se que a aplicação de FAPEF com câmera não calibrada não pode ser utilizada para o cadastro preciso das dimensões dos objetos a serem mapeados, recomenda-se vincular os bancos de dados dos contribuintes aos polígonos representando os contornos das edificações do município. Desta maneira, além dos dados das dimensões das construções, poderiam ser vinculados aos centróides

das edificações todas as variáveis necessárias para o cálculo do valor venal ou predial, ou para o cálculo de impostos, que posteriormente poderiam ser consultados na forma de mapas ou relatórios através da linguagem estruturada (*Structured Query Language - SQL*) em um SIG.

Além da consulta ao banco de dados, outra importante aplicação do SIG para o cadastro urbano refere-se à atualização de plantas de zoneamento de uso do solo. As edificações mapeadas a partir das FAPEF podem ser aplicadas na atualização da planta de zoneamento e da planta de valores, definidas pelo plano diretor, e assim adaptar o zoneamento de uso e o sistema de tributação à nova realidade espacial configurada no município.

Em geral, o uso das geotecnologias aplica-se em todos os setores da administração pública municipal, uma vez que qualquer tipo de fenômeno geográfico passível de ser localizado e representado na forma de relatórios ou mapas geocodificados pode ser armazenado como um banco de dados no SIG municipal, recomendado para se reduzir a subjetividade no processo de tomada das decisões administrativas.

No entanto, a tomada de decisões administrativas através do SIG municipal deve respeitar as leis orgânicas municipais, privando pela integração dos espaços urbano e rural. Por sua vez, recomenda-se que as leis orgânicas apliquem no planejamento urbanístico o controle do processo de urbanização, para assegurar o equilíbrio e evitar o despovoamento das áreas agrícolas ou pastoris, além de elaborar as normas de edificação, de zoneamento e loteamento urbanos (ou para a expansão urbana), atendidas as peculiaridades locais, respeitando as disposições de lei federal ou estadual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, J. Bittencourt de. 1998. **Fotogrametria**. Curitiba, Editora SBEE, 258 p.
- Aronoff, S. 1989. **Geographical Information Systems: a Management Perspective**. Ottawa, WDI Publications. 293p.
- BRASIL. **Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Comissão de Cartografia. 1985. Cartografia e Aerolevanteamento - Legislação**. Rio de Janeiro, IBGE. 251p.
- BRASIL. **Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1986. Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro, IBGE. 791 p. (Projeto RADAMBRASIL-Levanteamento de Recursos Naturais, v. 33)
- Burrough, P. A. 1985. **Principles of Geographical Information Systems and Land Resources Assesment**. Oxford, Claredon Press, 280 p.
- Clegg, R. H.; Scherz, J. P. 1975. **A Comparison of 9 inch, 70mm and 35mm Cameras**. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 12 (41): 1487-1500.
- Combs, J. E. 1980. **Planning and Executing the Photogrammetric Project**. In: **Slama, C.C.** Manual of Photogrammetry, American Society of Photogrammetry, 4th ed. Falls Church p.367-412.
- Disperati, A. A. 1991. **Obtenção e Uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato**. Curitiba, UFPR, 290 p.
- Ferraro, L. M. W. 1982. **A Evolução do Núcleo Urbano de Gramado em Função do Turismo**. 50 p. Trabalho de Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Garcia, G. J.; Marchetti, D. A. B. 1977. **Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação**. São Paulo, Editora Nobel, 256 p.
- Guerra, A. T.; Guerra, A. J. T. 1997. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil. 648p.
- IBGE. 1996. **Censo Demográfico Preliminar-Rio Grande do Sul**. Brasília, IBGE.
- Lillesand, T.; Kiefer, R. W. 1994. **Remote Sensing and Image Interpretation**. New York, John Wiley & Sons, 750 p.
- Loch, C. 1994. **Elementos Básicos da Fotogrametria e sua Utilização Prática**. Florianópolis, EDUFSC, 104 p.
- Mendes Jr., C. W. 2002. **Expansão da Ocupação Urbana de Gramado. Estudo de Caso da Aplicação de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato e SIG**. 172 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Novak, K. 1992. **Rectification of Digital Imagery**. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 3 (58): 339-344.
- Olivas, M. A. A. 1999. **Fundamentos de Fotogrametria**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 100 p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE GRAMADO. 1991. **Plano Diretor do Município de Gramado**. Gramado, Secretaria Municipal do Planejamento e Urbanismo, 30 p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE GRAMADO. 1999. **Planta Cadastral Atualizada Folhas 1 a 6**. Gramado, Secretaria Municipal do Planejamento e Urbanismo. 6 mapas coloridos. Escala 1:5.000. Material Cartográfico.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE GRAMADO. 1999. **Planta de Zoneamento conforme Lei nº 1.693/99**. Gramado, Secretaria Municipal do Planejamento e Urbanismo. 1 mapa preto-e-branco. Escala 1:10.000. Material Cartográfico.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE GRAMADO. 1999. **Ruas e avenidas por bairros e loteamentos**. Gramado, Secretaria Municipal do Planejamento e Urbanismo. Não publicado.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE GRAMADO. 1999. **Situação dos Loteamentos**. Gramado, Secretaria Municipal do Planejamento e Urbanismo. Não Publicado.
- Ricci, M.; Petri, S. 1965. **Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica**. Editora Nacional, São Paulo, 326 p.
- Spencer, R.D. 1978. Map Intensification from Small Format Camera Photography. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 6 (44): 697-707.
- Woodcock, W. E. 1976. Aerial Reconnaissance and Photogrammetry with Small Cameras. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 4 (42): 503-511.
- Wolf, P. R. 1974. **Elements of Photogrammetry**. New York, Mc Graw Hill, 562 p.
- Zomer, S. L. C. 1997. **Uso de Recobrimentos Aerofotográficos Verticais no Estudo das Alterações sobre a faixa de Dunas Frontais do Litoral Norte do Rio Grande do Sul**. 133 p. Dissertação de Mestrado em Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.