

# REVISTA UniVap

CIÊNCIA • TECNOLOGIA • HUMANISMO

São José dos Campos-SP - Ano 1 - Nº 1 - Setembro/93

*Uma publicação da:*

**UNIVERSIDADE DO  
VALE DO PARAÍBA**

**1**

A REVISTA UniVap tem por objetivo divulgar conhecimentos, idéias e resultados, frutos de trabalhos desenvolvidos na UNIVAP - Universidade do Vale do Paraíba, ou que tiveram participação de seus professores, pesquisadores e técnicos.

Os artigos assinados são de responsabilidade exclusiva de seus autores. A publicação total ou parcial dos artigos desta revista é permitida desde que seja feita referência completa à fonte.

**Univap**

UNIVERSIDADE DO VALE DO PARAÍBA

**Baptista Gargione Filho**

*Reitor*

**João Luiz Teixeira Pinto**

*Vice-Reitor*

**Jair Cândido de Melo**

*Pró-Reitor da Graduação*

**Marcos Tadeu Tavares Pacheco**

*Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação*

**Antonio de Souza Teixeira Júnior**

*Pró-Reitor de Extensão*

**Alton Teixeira**

*Pró-Reitor de Planejamento,  
Administração e Finanças*

**Hugo Benatti Jr.**

*Diretor do Instituto de Ciências  
Sociais Aplicadas*

**Francisco José Mendonça**

*Diretor do Inst. de Ciências Humanas*

**Mituo Uehara**

*Diretor do Instituto de Ciências  
Exatas e Tecnologia*

**COORDENAÇÃO GERAL**

Antonio de Souza Teixeira Junior

Luiz Oscar Dourado Falcão

**DIGITAÇÃO E FORMATAÇÃO**

Elizabeth Mayumi Yamashita

**IMPRESSÃO E ACABAMENTO**

Gráfica da UNIVAP

**CORRESPONDÊNCIA**

UNIVAP - Pç. Cândido Dias Castejón, 116

CEP 12245-720 - S.J. Campos - SP - Brasil

Tel. (0123) 22-2355

Fax (0123) 41-7248

## SUMÁRIO

AnoI	nº1	setembro/93
EDITORIAL		1
O USO DE SONDAGENS TOVS EM UM MODELO DIAGNÓSTICO NO ESTUDO DAS CHUVAS INTENSAS OCORRIDAS EM SÃO PAULO EM MARÇO DE 1991	Jojhy Sakuragi . Marlene Elias Ferreira . Pedro Leite da Silva Dias . Maria Roseli Cabral Ho.	3
METODOLOGIA PARA A GERAÇÃO DE IMAGENS DE GEOFÍSICA: UMA CONTRIBUIÇÃO À INTEGRAÇÃO DE DADOS NA PESQUISA GEOLÓGICA	Silva Beatriz Alves Rolim . Waldir Renato Paradella . Ricardo M. de Vasconcelos . Maria Laura Vereza de Azevedo.	7
URBANIZAÇÃO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE - O MONITORAMENTO DO CRESCIMENTO URBANO ATRAVÉS DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS SGI/INPE	Sandra Maria Fonseca da Costa.	13
PROPOSTA METODOLÓGICA PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VIDA URBANA A PARTIR DE DADOS CONVENCIONAIS E DE SENSORIAMENTO REMOTO, SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) E DE UM BANCO DE DADOS	Vânia Aparecida Ceccato . Celina Foresti . Maria de Lourdes N. de O. Kurkdijan.	19
INFLUÊNCIA DA GEOMETRIA DE VISADA NA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DE DUAS GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS	Ademir Fernando Morelli . Antonio Roberto Formaggio . José Carlos Neves Epiphânio.	27
PROJETO SGIDB - INTEGRAÇÃO DO SGI A GERENCIADORES DE BANCO DE DADOS RELACIONAIS	Ademir Fernando Morelli . Rafael Duarte Coelho dos Santos . Vânia Aparecida Ceccato . José Luis de Oliveira . Mário José Moreira . Rogério Benedito Andrade . Silene de Freitas Fernandes . Vladimir Moreira da Costa . Suely Izumi Takamatsu Morelli.	43

## EDITORIAL

Este é o primeiro número da REVISTA UniVap e apresenta uma série de artigos versando sobre Geoprocessamento e suas aplicações, em decorrência do interesse que o assunto apresenta para a Universidade, que mantém laboratório de P&D ligado a este tipo de atividade espacial, além de cursos de graduação e pós-graduação nos quais diversas disciplinas utilizam tecnologias modernas, a exemplo da aero-fotogrametria, como meio para completar a formação de professores, pesquisadores e planejadores das atividades urbanas e regionais.

Os artigos relatam estudos do que ocorre aqui na Terra, visto por olhos colocados nos céus, através de instrumental que utiliza aviões ou satélites, para melhor visualização e compreensão da fenomenologia e da vida de nosso planeta.

Da mesma forma que para ter uma visão mais abrangente, não podemos focalizar em nossa retina somente o que se passa entre as paredes de nossa casa, necessitando alargar horizontes e viajar, o sensoriamento remoto é a maneira mais funcional na atualidade para saber como são as cidades, ao nível de cada rua, cada quadra, cada residência, à medida que formos exigindo maiores detalhes das fotografias.

A curiosidade do homem é o elemento que o leva a não se contentar com o que já sabe ou já pode saber, levando-o a investigar os demais companheiros da Terra no Sistema Solar e a extrapolar estas tentativas para outros sistemas, outros sois, outras galáxias.

É preciso conjugar a eficiência do que fazemos com a liberdade do que desejamos.

É que mais liberdade do que nos desatrelarmos de nosso habitat, a Terra, pode ser oferecida?

É exatamente esta imagem, mais modesta, não do Universo, mas do nosso planeta, das nossas cidades, que procuramos transmitir por meio dos artigos ora apresentados.

A visão das luzes das cidades da Europa, observadas de um satélite e transmitidas por fotografias até nós, permite, por exemplo, distinguir, pelos seus clarões registrados nas fotos, as capitais européias, Paris, Roma, Londres, as estradas iluminadas da Bélgica e da Holanda, transmitindo uma sensação, ao mesmo tempo de arte e de tecnologia, de uma realidade da qual estamos aparentemente perto, mas que só podemos desfrutar se dela nos despregarmos.

Esperamos que nossos leitores, além da tecnologia aqui oferecida, possam desfrutar do prazer de ainda continuar insatisfeitos, que é o caminho mais rápido para novos prazeres.

# O Uso de Sondagens Tobs em um Modelo Diagnóstico no Estudo das Chuvas Intensas Ocorridas em São Paulo em Março de 1991

Jojby Sakuragi \*

Marlene Elias Ferreira \*

Pedro Leite da Silva Dias \*\*

Maria Roseli Cabral Ho \*\*\*

## ABSTRACT

*Satellite soundings are an important source of upper air data over South America, where radiosonde observations are scarce. Nevertheless, this sort of data has not been used either operationally or in research. In this work, TOVS temperature and humidity profiles obtained by processing raw radiances, provided by NESDIS, using the International TOVS Processing Package (ITPP), were assimilated in a simple diagnostic model in order to evaluate the impact of satellite data. The case study refers to the heavy rainfall event that hit the city of São Paulo as well as the São Paulo State coastal areas in March 19, 1991, and were undetected by the Brazilian conventional prediction services and were underestimated by the ECMWF and NMC numerical weather predictions. The results show that TOVS data are important for detecting, monitoring and characterizing rapidly evolving sub-synoptic scale events in continental mid-latitudes in South America.*

## 1 - INTRODUÇÃO

A carência de dados convencionais na América do Sul dificulta em muito a previsão de tempo, especialmente naquelas situações que envolvem fenômenos de escala sub-sinótica e de mesoescala. A sondagem remota por satélite, embora seja uma importante fonte de dados de ar superior, não tem sido aproveitada no Brasil mesmo em âmbito de pesquisa.

A sondagem remota da atmosfera vem sendo promovida operacionalmente pelos atuais satélites de órbita polar heliossíncrona da série TIROS-N/NOAA desde 1979, através do instrumento TOVS (Sondador Operacional Vertical TIROS-N/NOAA), com 27 canais espectrais (1 no visível, 22 no infravermelho termal e 4 em microondas). Os satélites dessa série operam em pares com órbitas em quadratura, fornecendo imagens de uma mesma região geográfica a cada 6 horas (Smith, 1991). Em 1993, será iniciada uma nova série de satélites (ATN - TIROS-N/NOAA Avançado), cujo avanço mais notável é a possibilidade de realizar sondagens mesmo em condições de céu nublado por meio do instrumento AMSU (Unidade de Sondagem em Microondas Avançada), com 20 canais

(\*) Professores da UNIVAP

(\*\*) Professor da USP

(\*\*\*) Analista de Sistema do INPE

(Rao et al., 1990).

As sondagens do TIROS-N/NOAA destinam-se especialmente ao uso em modelos de previsão numérica de tempo, em especial os de caráter global. São inúmeros os trabalhos sobre o impacto dos dados de satélite em modelos numéricos. Se, por um lado, geram dúvidas sobre a contribuição para o Hemisfério Norte, esses trabalhos são unânimes em concluir que as sondagens remotas são fundamentais para o Hemisfério Sul (Baker, 1991; Flobert et al., 1991; Smith, 1991).

A presente pesquisa tem como objetivo principal verificar a contribuição das sondagens TOVS no diagnóstico do evento ocorrido em 19 de março de 1991, que provocou inundações na capital e no litoral do Estado de São Paulo. Este episódio foi precedido pela oclusão de um sistema frontal no Rio Grande do Sul no dia 18, cujo ramo frio moveu-se rapidamente na direção nordeste, atingindo o Estado de São Paulo na madrugada do dia 19, em cujo período as observações convencionais não são realizadas no País.

As previsões baseadas em modelos diagnósticos comados convencionais não foram corretas. Por outro lado, as previsões numéricas do ECMWF e do NMC não foram capazes de corretamente estimar a magnitude do fenômeno, embora o tenham detectado (Silva Dias et al., 1991).

## 2 - METODOLOGIA

Com o intuito de estudar o evento foi utilizado um modelo numérico diagnóstico fundamentado na análise objetiva e na interpolação ótima (Silva Dias et al., 1986).

A base de dados incluiu: observações convencionais de superfície e de ar superior, análises do NMC, dados brutos de sondagens TOVS (NOAA-10 e 11) e imagens de cobertura de nuvens obtidas pelo satélite GOES.

Os dados brutos de sondagem TOVS foram convertidos em perfis verticais de temperatura e de umidade por meio do ITPP, um pacote especialmente desenvolvido para esse fim por pesquisadores da Universidade de Wisconsin (Smith, 1991). A versão atual do ITPP (de número 4) foi especialmente implementada como parte da realização do presente trabalho num computador VAX 11/780. Entre os importantes sub-produtos meteorológicos que podem ser calculados no âmbito da sondagem remota devem ser mencionados a altura geopotencial, os índices de estabilidade estática e a água precipitável.

A estimativa inicial utilizada no ITPP-4 baseou-se no método de regressão linear. As observações convencionais de superfície e dados do NMC do nível de 1000 hPa foram empregados para "ancorar" os perfis inferidos. A resolução espacial adotada foi cerca de 60

km, portanto bem maior do que a normalmente utilizada pelo NESDIS para estimar os perfis TOVS divulgados via GTS (cerca de 250 km).

Na estimativa dos campos de interesse meteorológico com o modelo diagnóstico (geopotencial, advecção de temperatura, advecção de umidade, advecção de vorticidade e divergência etc), foi adotada a resolução de 2.5x2.5 grau e foram utilizadas as seguintes combinações de dados: (a) apenas observações de radiossondagem; (b) apenas perfis TOVS; (c) perfis TOVS e dados de vento da análise do NMC; e, (d) perfis TOVS, observações de radiossondagem e dados de vento da análise do NMC. Neste último caso, aos dados de vento de radiossondagem e do NMC foram atribuídos pesos de 1 e de 1/4, respectivamente, de acordo com estudos realizados por Silva Dias e Silva Dias (1986).

## 3 - RESULTADOS

Por falta de espaço, somente serão apresentados alguns resultados referentes aos casos (b) e (c) e, para fins comparativos, as análises do NMC.

Na Figura 1 encontra-se o campo de altura geopotencial (500 hPa) às 00 UTC, obtido a partir dos dados de sondagem TOVS (a) e a análise do NMC correspondente (b). Os dois campos apresentam configurações e magnitudes semelhantes. Entretanto,

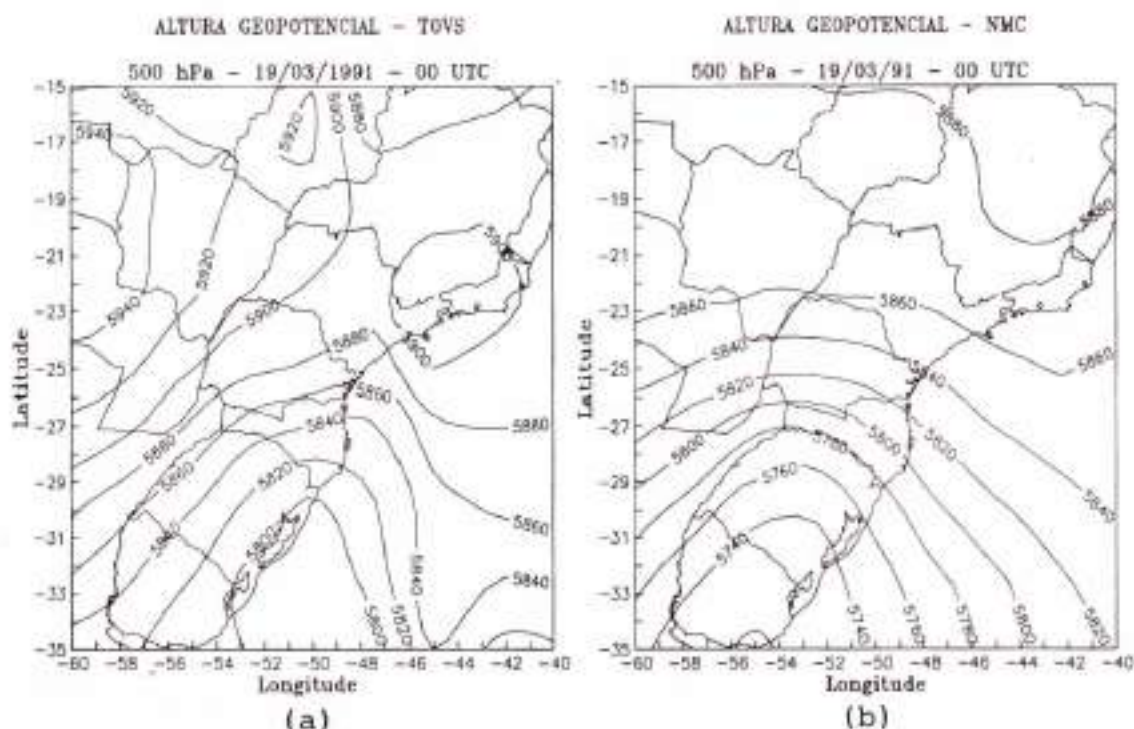


Figura 1 - Altura geopotencial (m): (a) TOVS e (b) NMC.

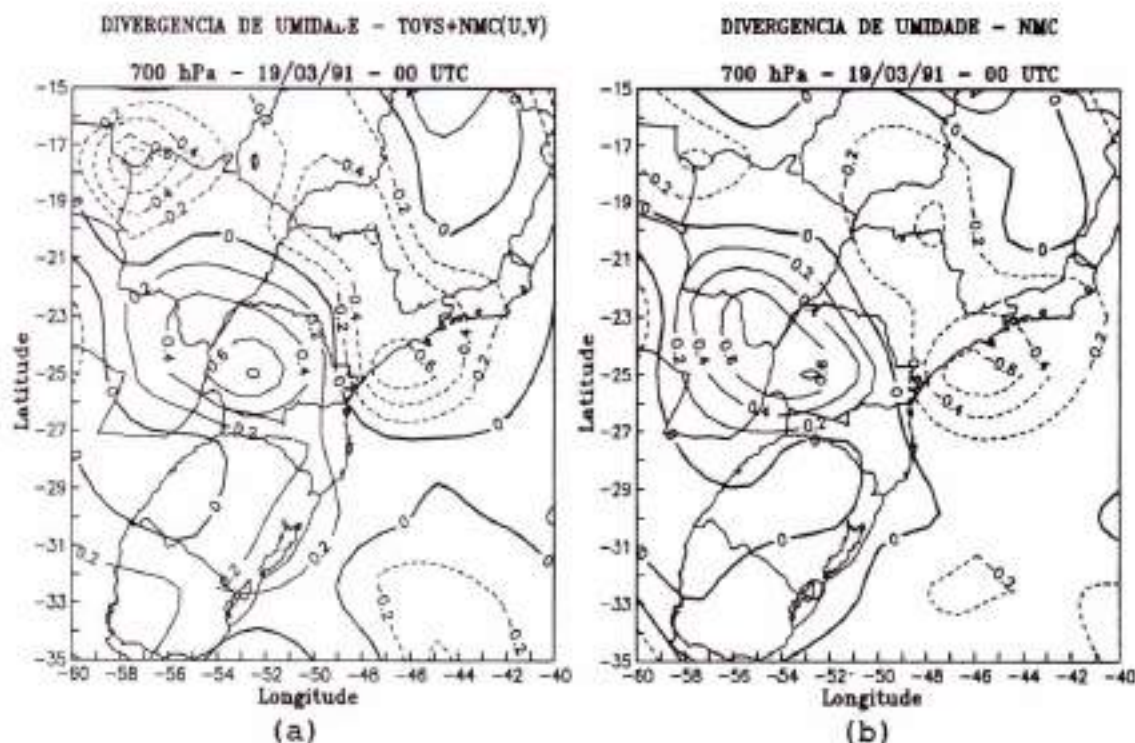


Figura 2 - Advecção de temperatura ( $10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C s}^{-1}$ ): (a) TOVS + NMC(u,v) e (b) NMC.

o cavado presente na região sul do Brasil foi muito melhor caracterizado nos dados de satélite. Na análise do NMC este cavado, embora presente, é muito suave. Na Figura 2 é apresentado o campo de advecção de temperatura; (a) refere-se aos resultados obtidos com o modelo diagnóstico, utilizando dados de sondagem TOVS (temperatura) e dados do NMC (vento) e (b) refere-se à análise do NMC. Note-se que existe coerência entre ambos, tanto em magnitude como em configuração. Isso indica que há um predomínio do campo de massa, ou seja, os ventos são mais dominantes na configuração do campo de divergência de umidade do que o campo de umidade.

Atenção especial foi dada ao horário de 00 UTC por várias razões. Talvez a mais importante seja a inexistência de dados convencionais de ar superior. Por outro lado, parece ter sido neste horário que o sistema em estudo se organizou. As imagens de cobertura de nuvens (não mostradas) corroboram essa constatação.

Embora a presente pesquisa ainda esteja em andamento, os resultados obtidos até o momento confirmam a importância dos dados de satélite no monitoramento de fenômenos de escala sub-sinótica e de mesoescala e são especialmente importantes nos horários assinóticos e/ou desprovidos de observações de ar superior.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido das seguintes instituições: INPE, CNPq, FAPESP, Centro de Controle de Satélite do INPE, NOAA/NESDIS, NCAR e UNIVAP.

#### REFERÊNCIAS

- BAKER, W. Joint NESDIS/NASA/NMC effort to develop and advanced satellite retrieval system. In: *Sixth International TOVS Study Conference*. Airlie, Virginia. May 1-6, p. 35-40, 1991.
- FLOBERT, J.-F.; ANDERSSON, E.; CHÉDIN, A.; HOLLINGSWORTH, A.; KELLY, G.; PAILLEUX, J. and SCOTT, N.A. Global Data Assimilation and Forecast Experiments Using the Improved Initialization Inversion Method for Satellite Soundings. *Monthly Weather Review*, 119:1881-1914, 1991.
- RAO, P.K.; HOLMES, S.J.; ANDERSON, R.K.; WINSTON, J.S.; LEHR, P.E. *Weather Satellites: systems, data, and environmental applications*. American Meteorology Society. Boston, 1990.

SILVA DIAS, P.L.; ETCHICHURY, P.; SCOLAR, J.; PEREIRA FILHO, A.J.; SATYAMURTY, P.; SILVA DIAS, M. A. F.; GRAMMELSBACHER, I.; GRAMMELSBACHER, E. As chuvas de março de 1991 na região de São Paulo. Climanálise, 6(5):44-59, 1991.

SILVA DIAS, M.A.F. e SILVA DIAS, P.L. Uso de mensagens GRID em conjunto com dados convencionais para fins de análise objetiva e

implicações na análise diagnóstica. In: I Congresso Interamericano de Meteorologia e IV Congresso Brasileiro de Meteorologia. Brasília, Brasil. Out. 1986.

SMITH, W.L. Atmospheric soundings from satellite-false expectation or the key to improved weather prediction? Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 117(498):267-297, 1991.

# Metodologia para a Geração de Imagens de Geofísica: uma Contribuição à Integração de Dados na Pesquisa Geológica

Silvia Beatriz Alves Rolim \*

Waldir Renato Paradella\*\*

Ricardo M. de Vasconcelos \*\*\*

Maria Laura Vereza de Azevedo \*\*\*

## ABSTRACT

*The Amazon region has very few geological surveys, in spite of having several mineral districts. The relationship between geology, relief, soils and vegetation cover is poorly investigated. This lack of knowledge is caused by many factors, such as the non-accessibility to the area, its environmental complexity, the absence of systematic and integrated multidisciplinary studies, etc. These problems can be partially solved by the use of Digital Processing Image (DPI) and Geographical Information System (GIS). In order to perform this research, digital magnetic images (derived from aerial profiles) were created. This geophysical data (N-S profiles) were converted to a regular grid of 30m and subsequently, to a black and white digital image with a Cubic Spline interpolation algorithm. These images were generated in order to improve a better correlation between geological and geophysical knowledge of the Pojuca Test Area.*

## 1. INTRODUÇÃO

A Amazônia, apesar de cobrir quase metade do território brasileiro e possuir importantes depósitos minerais em seus terrenos, é uma região pouco pesquisada, principalmente no que diz respeito às relações entre a geologia, os solos, o relevo e a distribuição da cobertura vegetal.

As dificuldades que surgem quando se propõe estudos geológicos nestas áreas relacionam-se, em grande parte, ao clima tropical úmido, onde a alta taxa de intemperismo e a densa cobertura vegetal não favorecem a obtenção de informações diretas do substrato.

Neste sentido, cabe mencionar que a região amazônica dispõe de um acervo de dados de satélites desde 1972 (Landsat MSS e TM e SPOT), de cobertura por Radar e, parcialmente, de geofísica e topográficos, que permitem novas abordagens de manipulação, possibilitando um novo enfoque para a exploração do potencial das informações presentes.

As restrições existentes e a disponibilidade destes dados conduzem a um estado da arte direcionado, cada

vez mais, ao uso de técnicas de processamento digital de imagens (PDI) e de sistemas de informações geográficas (SIG), como opções para a manipulação de dados deste ambiente.

## 2. OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é discutir os procedimentos para a geração de imagens digitais de magnetometria, a partir do processamento digital dos dados de perfis aerogeofísicos, avaliando a sua contribuição à integração de dados na pesquisa geológica.

## 3. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo possui, aproximadamente, 236 Km<sup>2</sup> e situa-se no flanco norte da Serra dos Carajás, a sudeste do Estado do Pará, no Município de Parauapebas (Figura 1).

## 4. GEOLOGIA

A área selecionada localiza-se na Serra dos Carajás, dentro da porção norte da Província Mineral dos Carajás. Conforme DOCEGEO (1988), as unidades mais antigas da área são representadas pelo

(\*) Professora da UNIVAP

(\*\*) Pesquisador do INPE

(\*\*\*) Geofísicos do CPRM

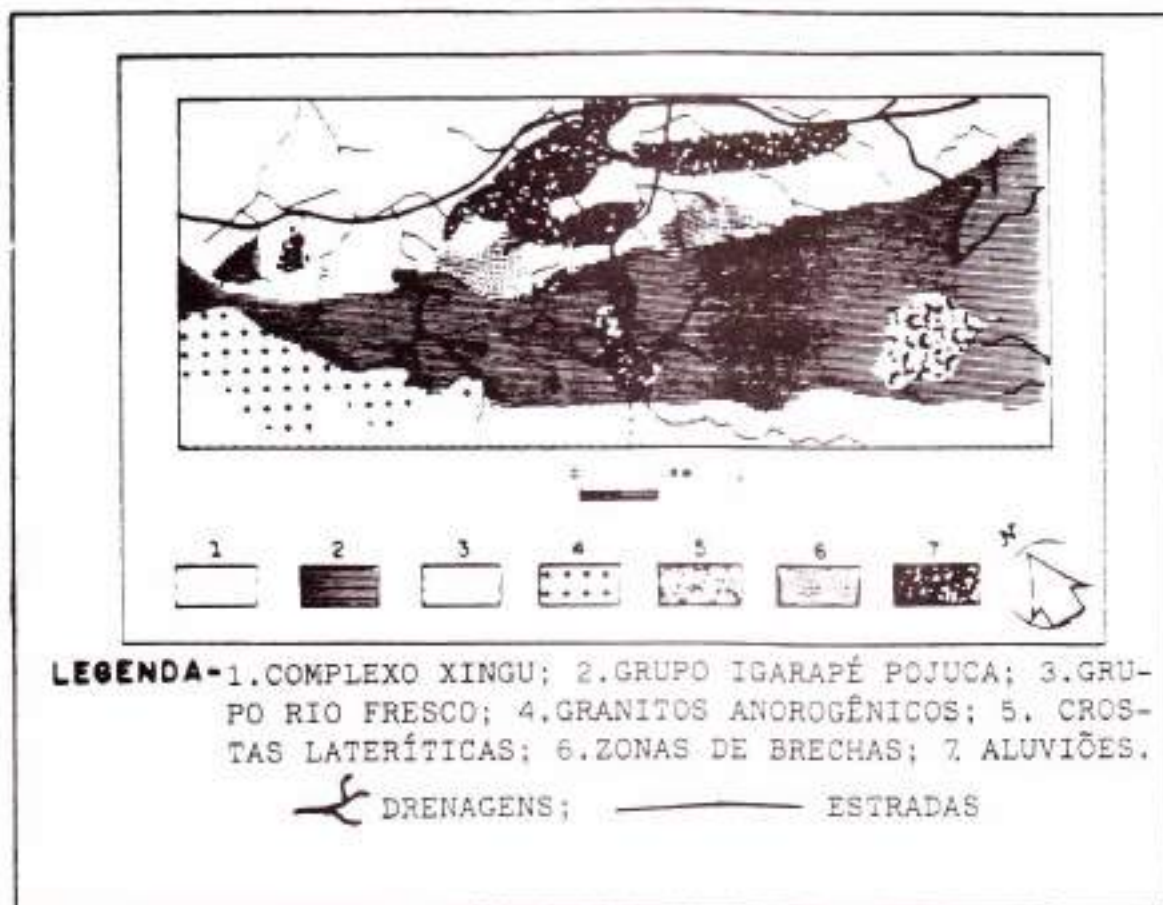


Fig. 1 - Mapa Geológico da área de estudo  
 FONTE: DOCEGEO (1988)

Complexo Xingu, caracterizadas por rochas gnáissicas migmatizadas ou não, provenientes do retrabalhamento metamórfico sobre terrenos arqueanos. Distinto deste pacote apresenta-se o Grupo Igarapé Pojuca, de idade arqueana e produto de uma evolução em ambiente vulcanossedimentar com graus metamórficos variados. Intrusões graníticas anorogênicas cortam esta unidade. Uma cobertura sedimentar transgressiva de baixo grau metamórfico capeia as seqüências anteriores e está relacionada ao Grupo Rio Fresco. Observam-se coberturas lateríticas terciárias nas áreas de platôs das unidades do Grupo Igarapé Pojuca e do Grupo Rio Fresco. Aluviões, depósitos de areia e arenitos impuros, relativos ao Quaternário, cobrem as áreas dissecadas da área do Pojuca.

#### 5. CARACTERÍSTICAS DOS DADOS MAGNETOMÉTRICOS

Os dados magnetométricos que cobrem a área de estudo são referentes a perfis de voo, de direção N-S, posicionados em coordenadas UTM, provenientes do levantamento aeromagnético das folhas Serra dos Carajás e Rio Cinzento e pertencentes ao Projeto Brasil-Canadá (PGBC) de 1978. A altura de voo sobre o terreno foi da ordem de 150 metros, com um intervalo de amostragem ao longo dos perfis de um (01) segundo (distância média equivalente no terreno de 61 metros). As linhas de voo tiveram um espaçamento de 1000 metros. Estes dados foram fornecidos pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) e transformados na Companhia de Pesquisas e Recursos Minerais (CPRM), Rio de Janeiro, para o formato de grades regulares, com resolução espacial de 125 metros e gravados no formato ASCII, compatível com o Sistema Geográfico de Informações (SGI) e com o Sis-

tema de Tratamento de Imagens (SITIM), utilizados pelo INPE.

É importante mencionar que o IGRF (International Geomagnetic Reference Field) não foi removido dos dados finais. Em função da dimensão da área de estudo (em torno de 15 X 15 Km) a superfície representativa do IGRF praticamente se transforma em um plano, com contribuição mínima nos dados magnéticos. Além disso, foi prevista apenas uma interpretação qualitativa dos resultados, onde a contribuição do IGRF pode ser considerada irrelevante. Maiores detalhes sobre este procedimento encontram-se em Rolim (1992).

## 6. TRATAMENTO DIGITAL DOS DADOS MAGNETOMÉTRICOS

### 6.1. INTRODUÇÃO

A denominação "tratamento digital dos dados de geofísica", adotada neste trabalho, refere-se a todos os processamentos para converter os perfis originais de magnetometria em imagens compatíveis com o SGI e SITIM.

Normalmente, o produto final utilizado para a interpretação de levantamentos aerogeofísicos são mapas de contorno gerados a partir de interpolações realizadas ao longo e entre os perfis de vôo posicionados. Estas interpolações transformam as perfis em grades regularmente espaçadas. Em função da interpolação, tais mapas perdem a riqueza de detalhes contida nos perfis. Contudo, eles são mais utilizados, pela facilidade de interpretação dos dados presentes, uma vez que estes fornecem uma visualização bidimensional, essencial para a compreensão da situação geológica geral da área (Reeves, 1985).

Por outro lado, a partir do momento em que dados de levantamentos geofísicos, na forma de grades regulares, podem ter seus valores (anomalias que podem variar de valores negativos a positivos) reescalados para 8 bits (256 níveis de cinza), estes podem ser apresentados por meio de imagens "raster", em preto e branco ou coloridas.

Desta forma, estas imagens permitem uma série de processamentos para realces de informações e também a integração com outros dados (de sensoriamento remoto, geoquímica, topográficos, geológicos, etc.). O resultado é o aprimoramento da qualidade das informações extraídas, uma vez que o olho humano percebe melhor variações de níveis de cinza (luminância) do que linhas de contorno de mapas (Drury e Walker, 1987).

### 6.2. GERAÇÃO DE GRADES REGULARES

A seguir serão discutidos os procedimentos adotados pela CPRM para a geração das grades regulares (Vasconcelos et al., 1990).

O primeiro estágio consta da análise dos dados referentes ao vôo executado, (altura, posicionamento e espaçamento das linhas de vôo, e métodos de compilação e pré-processamento dos dados digitais) e da análise dos mapas e relatórios disponíveis.

No segundo estágio, definem-se os parâmetros para o processamento dos dados, ou seja, a dimensão da célula da grade e a frequência de corte do filtro anti-aliasamento (função da dimensão da célula).

Conforme Vasconcelos et al. (1990), normalmente, a célula da grade é definida com um tamanho equivalente a um valor entre 1/4 e 1/8 do espaçamento médio entre as linhas de vôo. Esta dimensão implica na perda de algumas informações obtidas paralelamente às linhas, ou seja, todos os comprimentos de onda menores que o dobro da dimensão da célula não serão adequadamente representados. Por outro lado, na direção normal às linhas haverá uma subamostragem. Em função dos parâmetros do vôo que cobrem a área teste, foi definida uma célula com dimensão de 125 metros. Neste caso, a amostragem dos dados ao longo do perfil, em função da dimensão da célula, provoca a contribuição de anomalias de comprimentos de onda menores que 250 m sobre anomalias de comprimentos de onda maiores que 250 m, fenômeno conhecido como aliasamento. O filtro anti-aliasamento aplicado elimina tal contribuição. O filtro é do tipo passa-baixa e possui uma frequência de corte equivalente ao dobro da dimensão da célula, chamada frequência de Nyquist.

Considerando a célula dimensionada para os dados aeromagnéticos da área teste, foi definida a frequência de corte para o filtro anti-aliasamento da seguinte maneira:

$$\text{Freq.Nq.} = 1/(2 * \text{dimensão da célula})$$

$$\text{Freq.Nq.} = 1/(2 * 125) = 0,004 \text{ ciclos/metro}$$

O terceiro estágio envolve a geração da grade regularmente espaçada, a partir dos dados amostrados nos perfis de vôo, por meio de funções de interpolação adequadas. Alguns interpoladores tem sido testados, entre eles o Spline Cúbico, o Spline Bicúbico, o Akima, funções lineares, etc. (Akima, 1974; Eliason et al., 1983; Reeves, 1985; Wu, no prelo).

Reeves (1985) menciona que os algoritmos de interpoladores mais utilizados são o Akima e o Spline Cúbico. O autor sugere que estes algoritmos são selecionados, provavelmente, mais por economia de tempo de processamento, do que por apresentarem melhores resultados. Wu (no prelo) também menciona os mesmos interpoladores como os mais utilizados,

peço fato de simularem com eficiência a natureza do campo potencial.

O "software" utilizado pela CPRM possui um algoritmo para a geração da grade ou malha regular com dois interpoladores: o primeiro, com uma função linear para os pontos ao longo das linhas de vôo N-S e o segundo, com uma função Spline Cúbica para os pontos definidos pelo cruzamento dos meridianos UTM com os paralelos, definindo cada nó da grade.

Para o presente trabalho, foi gerada uma grade regular com resolução espacial de 125 metros e com uma inclinação de  $-20^\circ$  para realçar as feições S70°E apresentadas na área (filtro para realce de "trends"). Este filtro evita o aparecimento de feições lineares compostas de várias anomalias mono ou bipolares.

### 6.3. APLICAÇÃO DO PROGRAMA MAGMAP

A CPRM possui um conjunto de algoritmos, agrupados no Programa MAGMAP versão 3.0 para a aplicação de filtros específicos (de alta e de baixa frequência e geofísicos) em dados no formato de grade regular. O objetivo é atenuar, eliminar e até mesmo transformar determinadas feições lineares e/ou planares presentes nos dados originais (Vasconcelos et al., 1990).

Neste trabalho foi aplicado o filtro de redução ao equador (REDE) nos dados magnetométricos finais. O objetivo deste filtro é simplificar as feições das anomalias, uma vez que os valores das amplitudes de um corpo apresentam valores invertidos no equador (um mínimo) e no pólo magnético (um máximo). A aplicação da REDE limita-se a valores superiores à inclinação de  $20^\circ$ , em função da inclinação zero para as amplitudes no equador magnético (anomalias com amplitudes infinitas).

### 6.4. GERAÇÃO DE IMAGENS DE MAGETOMETRIA

A etapa posterior à construção das grades regularmente espaçadas compreende a geração de suas respectivas imagens digitais, a partir da conversão de seus valores pontuais, que representam a amplitude do campo magnético total, em 256 níveis de cinza (8 bits).

Para cumprir este objetivo, foi utilizado o SGI, onde as grades regulares podem ser inseridas na forma de modelos numéricos de terreno (MNT/formato grade) e transformadas em imagens (formato raster).

A Figura 2 apresenta o MNT/formato grade da imagem transformada de redução ao equador magnético.

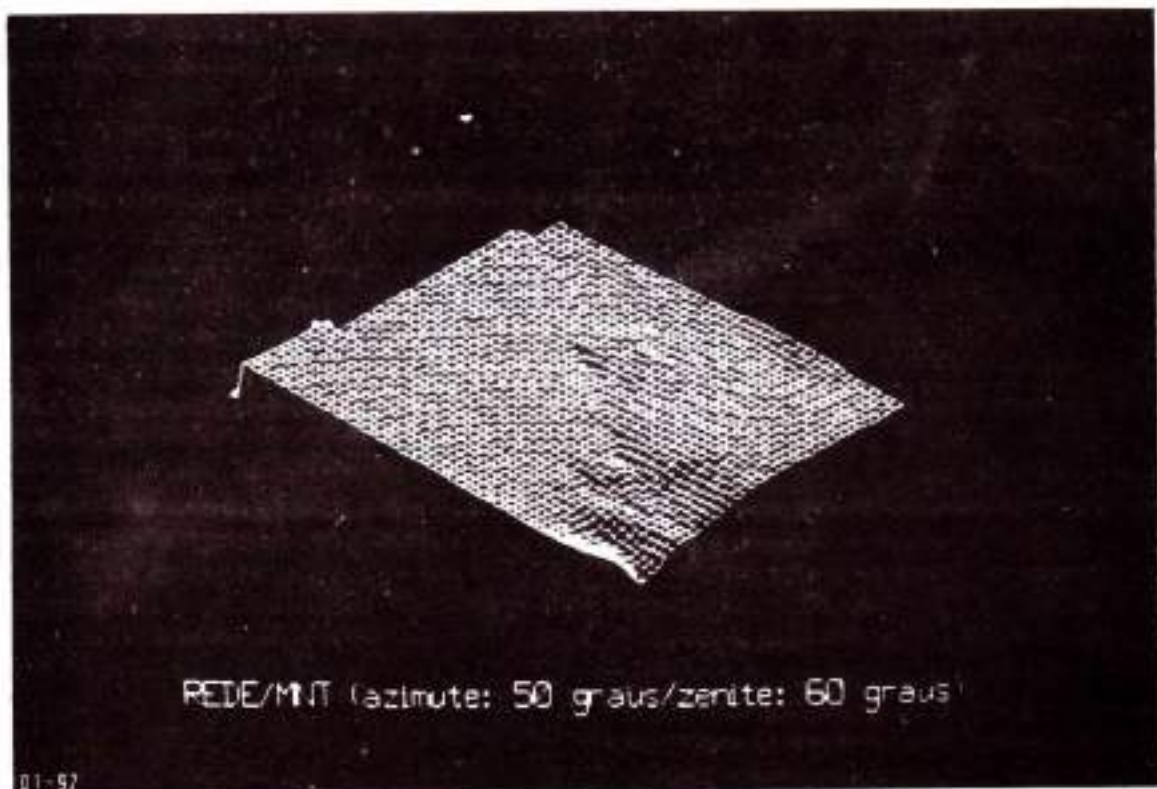


Fig. 2 - MNT/formato grade da imagem transformada da redução ao equador magnético

Durante a conversão dos dados foi realizado um refinamento da grade, transformando a sua resolução espacial de 125 metros para 30 metros. Maiores detalhes sobre este refinamento encontra-se em Rolim (no prelo). É importante mencionar que o refinamento das grades realizado no SGI seguiu os mesmos parâmetros da função de interpolação, adotada no programa MAGMAP versão 3.0 da CPRM (Spline Cúbica).

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interpretação dos dados magnetométricos ficou limitada em função da escolha da dimensão da área. Foi selecionada a imagem transformada de REDE para caracterizar os domínios magnéticos da Faixa Pojuca.

É importante salientar que a transformação de dados de magnetometria para apenas 256 valores discretos de níveis de cinza causa uma grande concentração de valores de pixels para algumas classes. Isto acontece em função da alta densidade e da distribuição irregular dos dados das anomalias magnéticas.

### 7.1. INTERPRETAÇÃO QUALITATIVA

A Figura 3 apresenta a imagem transformada de redução ao equador magnético realçada por equalização não linear de frequência (Mather, 1987), junto com sua respectiva interpretação. Esta área possui um relevo magnético suave ondulado, com um caimento geral na direção NE.

Na porção central da área ocorrem inflexões negativas, segundo a direção NW-SE, relacionadas a contatos entre áreas com diferentes contrastes magnéticos.

Este alinhamento e adensamento das anomalias, com mudanças bruscas de intensidade indica um desnivelamento entre blocos rochosos provocado pelo evento cisalhante ocorrido na área (Araújo et al., 1988).

O domínio D1 ocorre na porção NNE da área, caracteriza-se por uma feição planar de relevo magnético baixo e monótono e está associado às rochas metamorizadas do Complexo Xingu.

O domínio D2 caracteriza-se por corpos magnéticos com padrões geométricos elípticos e alongados, com uma direção geral N70°W. Estas feições são

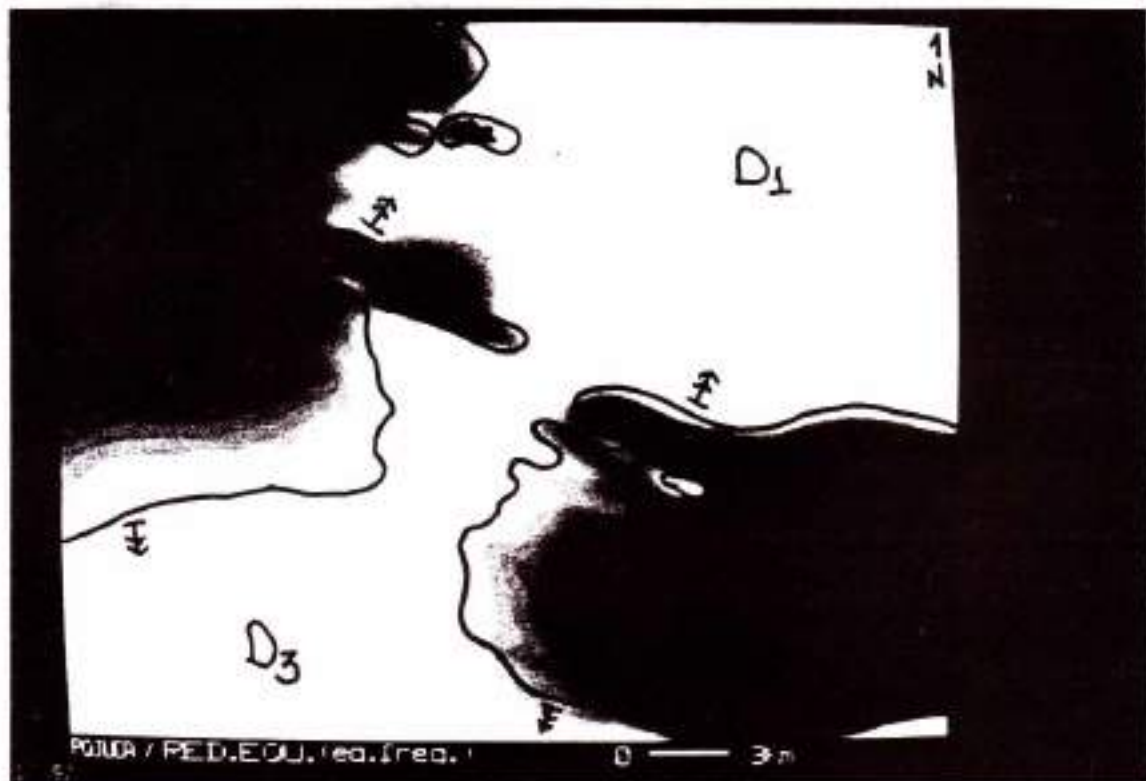


Fig. 3 - Imagem transformada de REDE

típicas de rochas com alta susceptibilidade magnética e estão relacionadas, segundo a geologia da área, ao Grupo Igarapé Pojuca. A forte orientação dos eixos magnéticos destas feições (N70°W), aliadas à interrupção do padrão geral do relevo magnético, evidenciam a presença de falhamentos. Estes relacionam-se ao evento de cisalhamento dúctil do Sistema Transcorrente Carajás, no sentido de Araújo et al. (1988).

Na porção SE do domínio D2 observa-se feições planares de baixo relevo magnético, tendendo a um padrão circular de maior amplitude e com alta densidade espacial. Este padrão de anomalia pode fazer parte de um ou mais dipolos. No entanto, não há dados suficientes para uma interpretação mais adequada dos pares máximos e mínimos além da área de estudo. Apenas pode-se sugerir que esta feição está relacionada à formação ferrífera do Grupo Grão Pará, fora dos limites desta imagem.

Na porção central da área observa-se uma interrupção do alinhamento N70°W com deslocamento dos eixos das anomalias, caracterizando um falhamento posterior de direção geral N40°E. Faltam dados para sugerir se a falha possui preenchimento de material básico ou ultrabásico (dipolos alinhados). No entanto, esta feição está associada aos falhamentos transcorrentes do Proterozóico, no sentido de Araújo et al. (1988), que modificaram a geometria dos elementos estruturais anteriores.

O domínio D3 caracteriza-se por feições de baixo relevo magnético, característicos de rochas fracamente magnéticas, ocorre na porção SW da área e está relacionado aos sedimentos de baixo grau metamórfico do Grupo Rio Fresco.

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta de descrever e avaliar o tratamento digital dos dados de magnetometria atingiu o resultado almejado no que se refere à contribuição para viabilizar a manipulação destes dados como subsídio e alternativa aos trabalhos geológicos.

A utilização de imagens de geofísica, mesmo em área restrita, sinalizou um grande potencial no auxílio do mapeamento geológico básico. A visualização destes dados, em níveis de cinza e/ou integrados a dados de sensoriamento remoto, subsidia a extração das informações presentes, uma vez que o olho humano percebe melhor as variações de níveis de cinza ou de matizes, do que mapas de isolinhas.

É importante registrar que qualquer técnica, seja a fotointerpretação, o processamento digital de imagens, etc, fica limitada quando utilizada isoladamente. Cabe ao geólogo manipular, de forma adequada, todas as informações disponíveis. Neste sentido, o tratamen-

to e a integração de dados multidisciplinares, por meio do SGI e do SITIM, mostraram-se dinâmicos e eficientes. Recomenda-se o uso frequente destes sistemas, a fim de criar uma cultura em geoprocessamento na comunidade geocientífica brasileira.

## 9. BIBLIOGRAFIA

Akima, H. A method of bivariate interpolation and smooth surface fitting based on local procedures. Communications of the ACM, 17(1):18-20, Jan. 1974.

Araújo, O.B.; Maia, R.G.N.; Silva, J.J.X. da; Costa, J.B.S. A megaestruturação arqueana da folha Serra dos Carajás. In: Congresso Latinoamericano de Geologia, 7., Belém, 1988. Anais. Belém, Pará, SBG, 1988, v.1. p. 324-337.

Vasconcelos, R.M.; Metelo, M.J.; Motta, A.C.; Gomes, R.D. Geofísica para levantamentos geológicos. Rio de Janeiro, 1990 (no prelo).

DOCEGEO (Rio Doce Geologia e Mineração S.A.). Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35., Belém, 1988. Anexo aos anais. Belém, SBG, 1988. p. 11-54.

Eliason, P.T.; Donovan, T.J.; Chavez Jr, P.S. Integration of geologic, geochemical, and geophysical data of the Cement oil field, Oklahoma, using spatial array processing. Geophysics, 48(10):1305-1317, Oct., 1983.

Mather, P.M. Computer processing of remotely sensed images. Chichester, John Wiley and Sons, 1987. 352 p. 11-54.

Reeves, C.V. Airborne geophysics for geological mapping and regional exploration. ITC Journal, 3:147-161. 1985.

Rolim, S.B.A. Avaliação do uso da transformação IHS na integração de dados de geofísica (aeromagnetometria) e de sensoriamento remoto (TM-Landsat) para a investigação geológica na área do Pojuca (Serra dos Carajás, Pará). Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 1992. No prelo.

Wu, C. Adequate sampling in magnetic survey, the resolution of closely-spaced sources and their importance to data processing, image enhancement techniques and interpretation. Unpub MSc thesis. ITC, Delft. 1991.

# Urbanização da Área Metropolitana de Belo Horizonte - o Monitoramento do Crescimento Urbano Através do Sistema de Informações Geográficas SGI/INPE

Sandra Maria Fonseca da Costa \*

## ABSTRACT

*Using multitemporal MSS and TM/LANDSAT image and aerial photography has been possible to identify the urban expansion of Belo Horizonte Metropolitan Area (BHMA) and the principal growth axes. This monitoring has been done using aerial photo of 1950 and 1967 (this mapping has been developed by PLAMBEL - Bureau of Metropolitan Planning) and using LANDSAT/TM and MSS image of 1975, 1980, 1985 and 1990. These data have been digitalized and integrated in GIS developed by INPE (National Institute of Spatial Research), Brazil. This method has provided important and significant data about urban expansion process of BHMA. It was easy to see and establish, with this study, the urban growth during 40 years (1950 to 1990). As a matter of fact, BHMA has growth more than 700%, or it had an area of almost 80 Sq.Km in 1950 and it had almost 410 Sq.Km in 1990. These data weren't published until this work and they are very important to urban planners.*

## INTRODUÇÃO

O processo de metropolização, no Brasil, foi marcado por momentos de grandes transformações espaciais, fruto da aceleração da industrialização e consequente concentração de riquezas nas grandes cidades.

Em decorrência deste processo, pode-se encontrar áreas metropolitanas que cresceram assustadoramente num período de 20 anos (1950 a 1970) e não teve-se condições de planejar e monitorar esta expansão urbana.

Ainda hoje, existe no Brasil uma gama de informações a respeito do processo de metropolização e a sua concretização espacial que não foram apuradas: qual(is) foi(ram) o(s) período(s) de maior crescimento urbano para todas as áreas metropolitanas? A que fatos estão associados? Qual é a área ocupada pelas áreas metropolitanas, atualmente? Não se deve confundir, neste estudo, os termos área metropolitana e região metropolitana.

O primeiro refere-se ao contínuo urbano, onde estão localizadas as maiores aglomerações dos centros urbanos, concentradores das principais casas de comércio e prestação de serviço. O segundo termo refere-se ao conjunto de municípios que estão contidos

na área de influência da cidade central e dela dependem em todos os sentidos.

Através de dados de sensoriamento remoto (orbital e semi-orbital) e de sistemas de informações geográficas (SIG), este problema pode ser minimizado, a um custo relativamente baixo.

Os dados adquiridos pelos sensores HRV-SPOT e TM/LANDSAT permitem, através de suas resoluções espacial, espectral e temporal, captar as tendências de expansão das áreas urbanas com boa precisão, registrar, periodicamente, as relações indiretas entre os fenômenos urbanos e todo o seu ambiente regional e identificar o desenvolvimento urbano em locais inadequados, como, por exemplo, a ocupação de áreas de relevo com alta declividade (Foresti, 1989).

Uma outra vantagem é a utilização de SIGs, que permitem a integração de dados já existentes com dados já atualizados. Também facilita o armazenamento de todo o tipo de informação urbana em um banco de dados e o cruzamento destas informações, favorecendo a elaboração, por exemplo, de mapas de prognóstico e de diagnóstico urbano.

Neste sentido, este trabalho teve como principal objetivo identificar o processo de expansão urbana na Área metropolitana de Belo Horizonte, utilizando-se de dados de sensoriamento remoto e do sistema de informações geográficas SIG/INPE para facilitar a integração dos resultados e a visualização do processo.

(\*) Professora da UNIVAP



## MATERIAIS E METODOLOGIA

Na elaboração deste trabalho foram utilizadas imagens MSS e TM de acordo com a tabela abaixo.

TABELA 1

Imagem	Ano	Banda	Escala	Orb/Pto
MSS	75	5	1:250.000	234/74
MSS	80	5	1:250.000	234/74
TM	85	3	1:250.000	218/74
TM	90	3	1:250.000	218/74

Estas imagens foram interpretadas, visualmente, levantando-se informações a respeito da mancha urbana da AMBH em cada ano. Respeitaram-se, neste processo, os elementos de fotointerpretação associados, nas imagens, ao ambiente urbano, conforme mostra a tabela 2. Não se pôde deixar de levar em consideração, também, a sensibilidade do fotointérprete na identificação das feições.

TABELA 2

Feição	Tonalidade	Textura	Forma
Área Urbana	Branco ao cinza claro	média	não - definida

Uma outra fonte utilizada, que serviu de base para as análises, foram os mapas da mancha urbana da AMBH em 1950 e 1967, fornecidos pelo PLAMBEL (1980), que é o órgão de planejamento da Região Metropolitana de Belo Horizonte. Estes mapas foram gerados na escala 1:100.000, utilizando-se de fotografias aéreas e trabalho de campo, associados.

Como pode ser percebido, as datas analisadas, com o intuito de se levantar o processo de expansão da mancha urbana da AMBH, foram 1950, 1967, 1975, 1980, 1985 e 1990. Esta periodização adotada tentou enfatizar os momentos de transformações estruturais, ou seja, mudanças na ordem social, política e econômica do país, que refletiram-se no espaço regional, modificando-o.

Estes dados foram digitalizados e integrados no SIG do INPE (SGI). Isto permitiu a visualização do processo de expansão da mancha urbana e os principais eixos de crescimento urbano, além de possibilitar a quantificação deste processo, ou seja, o levantamento

da área ocupada pela AMBH em cada ano e definir as taxas de crescimento.

Deste processo de digitalização, geraram-se seis mapas temáticos, na escala 1:250.000, onde pode ser observada a área ocupada pela AMBH nos diferentes períodos. Foi gerado, ainda, um mapa síntese, onde foram superpostos os planos referentes aos anos de 1950 e 1990, para se visualizar este crescimento em 40 anos.

## RESULTADOS OBTIDOS

Considerando, em linhas gerais, o sítio urbano da Área Metropolitana de Belo Horizonte, pode-se dizer que esta é uma área propícia à ocupação urbana, desde que fossem evitadas áreas de declividade mais intensa e preservadas como áreas verdes, assim como a cabeceira de vários córregos. A realidade, porém, é outra.

Contrói-se em vários locais desta área, com base em soluções indiferentes à natureza do terreno (geologia, pedologia e geomorfologia).

Segundo Carvalho (1985), "...isto se passa nos bairros de classe média ou alta. As camadas pobres da população, ou se enquistaram em alguns pontos privilegiados (do ponto de vista geotectônico) ou foram empurradas para as partes mais perigosas do território e aí construíram moradias de excepcional fragilidade, em terrenos sem qualquer preparação...".

Apesar destes problemas relacionados à questão ambiental, a AMBH possui áreas que podem ser ocupadas sem que se cause grandes danos ao meio ambiente. Nestes últimos quarenta anos, o que se verificou foi um processo de ocupação urbana que privilegiou as áreas mais propícias à ocupação, com excessão da porção leste (área de ocupação mais antiga), localizada nas proximidades da Serra do Curral, como foi observado por Costa (1991).

Na figura 2 estão ordenados os mapas temáticos, em escala reduzida, para facilitar a comparação e avaliação do processo de expansão urbana verificado na AMBH desde 1950 até 1990.

Como pode ser observado, pode-se notar três grandes eixos de crescimento: norte (em direção à Pampulha e Venda Nova), nordeste (em direção ao Horto) e oeste (em direção a Contagem e Betim).

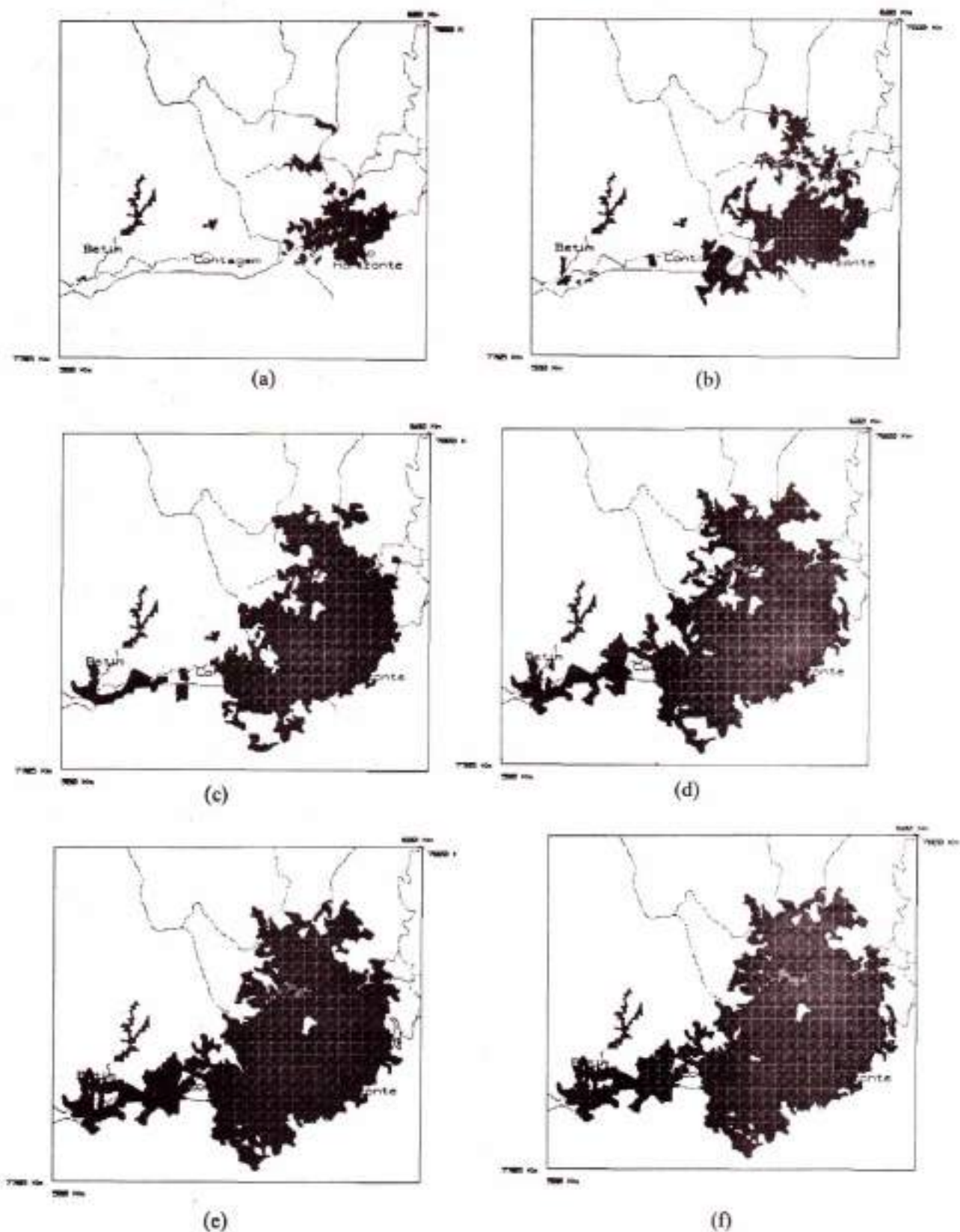


Figura 2 - Crescimento da mancha urbana da Área metropolitana de Belo Horizonte no período de 1950 a 1990: (a) mancha urbana em 1950; (b) mancha urbana em 1967; (c) mancha urbana em 1975; (d) mancha urbana em 1980; (e) mancha urbana em 1985; (f) mancha urbana em 1990.

Visualmente, por contraste entre as imagens, é fácil perceber que, de 1950 até 1967 e de 1967 a 1975, a AMBH praticamente dobrou. O crescimento da área urbana em direção ao eixo norte foi muito mais significativo durante estes períodos. O processo de conurbação urbana entre as cidades de Belo Horizonte, Contagem e Betim pode ser facilmente verificado.

Na tabela 3 encontra-se ordenada a área ocupada em cada período e na figura 3 podem ser observadas as taxas de crescimento entre os períodos.

TABELA 3

Ano	1950	1967	1975	1980	1985	1990
Área (Km <sup>2</sup> )	46,78	124,56	273,82	361,47	394,73	403,03

Nota-se, através da tabela 3 e da figura 3, que o período de maior taxa de crescimento foi de 1950 a 1967, 166,29%.

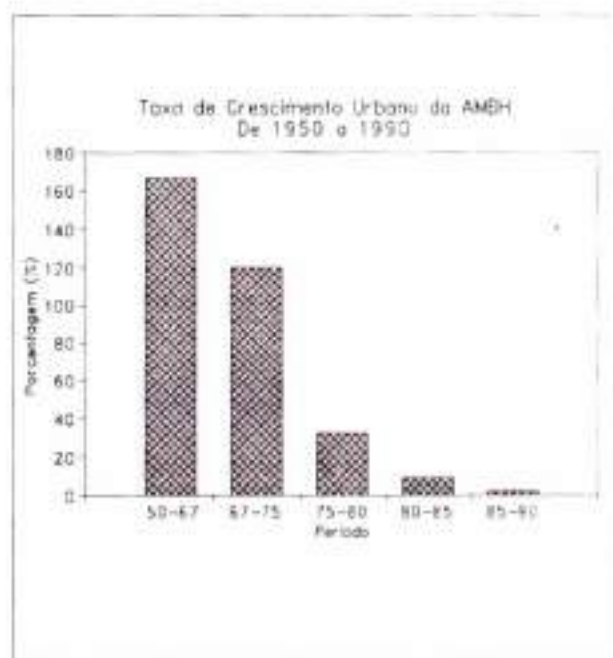


Figura 3: Taxa de crescimento urbano da AMBH de 1950 a 1990

Este período é marcado pela retomada do crescimento urbano da região. É caracterizado pela aceleração do processo de urbanização, estagnado por quase 30 anos devido aos problemas financeiros observados no país.

Entre 1967 e 1975, a taxa de crescimento foi, também, bastante significativa, ou seja, verificou-se um crescimento de 119,84%. Neste período, existe uma preocupação do poder público em modernizar o parque industrial de Contagem e Betim. Esta decisão faz com que não somente a AMBH mas também a RMBH, constitua-se em uma localização bastante adequada para a instalação de novas indústrias (FIAT, MBR etc). Esta política direcionou, mais ainda, o eixo de crescimento para o setor oeste.

Nos períodos subsequentes, a taxa de crescimento caiu, exponencialmente, ou seja, ocorre uma desaceleração do processo. Isto pode ser explicado pela crise econômica que assolou o país desde então.

A figura 4 apresenta um mapa síntese, elaborado a partir da superposição de dois planos: área urbana em 1950 e área urbana em 1990. Durante este período, a AMBH passou de uma área de 46,775 km<sup>2</sup> para 403,028 Km<sup>2</sup>, o que representa um crescimento de 761,63%. Isto significa que esta área alcançou uma taxa média de crescimento anual em torno de 19%.

Sem dúvida nenhuma, este crescimento é bastante significativo, levando-se em consideração que esta área foi, inicialmente, planejada para ter 34 km<sup>2</sup> e uma população de 200.000 habitantes.

## CONCLUSÕES

Este trabalho apresenta alguns resultados que são de fundamental importância em estudos urbanos.

A utilização de sistemas de informações geográficas, em conjunto com dados de sensoriamento remoto, na avaliação do processo de expansão urbana torna-se, atualmente, imprescindível, para que o trabalho de levantamento e análise de dados seja facilitado.

A relação custo/benefício é bastante alta, principalmente quando se tem necessidade de se atualizar as informações periodicamente.

Esta metodologia proposta é bastante simples e pode ser adotada por todos os órgãos de planejamento de região metropolitana existentes no país, pois existe uma necessidade muito grande de se ter dados desta natureza.

Os dados apresentados neste trabalho são inéditos, levando-se em consideração a área de estudo proposta, e são bastante interessantes. Quando avalia-se o processo de expansão aliado aos acontecimentos econômicos e políticos da época, torna-se mais simples compreender este processo de transformação espacial.

A proposta deste trabalho não acaba aqui. É prevista uma continuidade, que tem como objetivo a elaboração de uma carta de aptidão física à ocupação urbana.

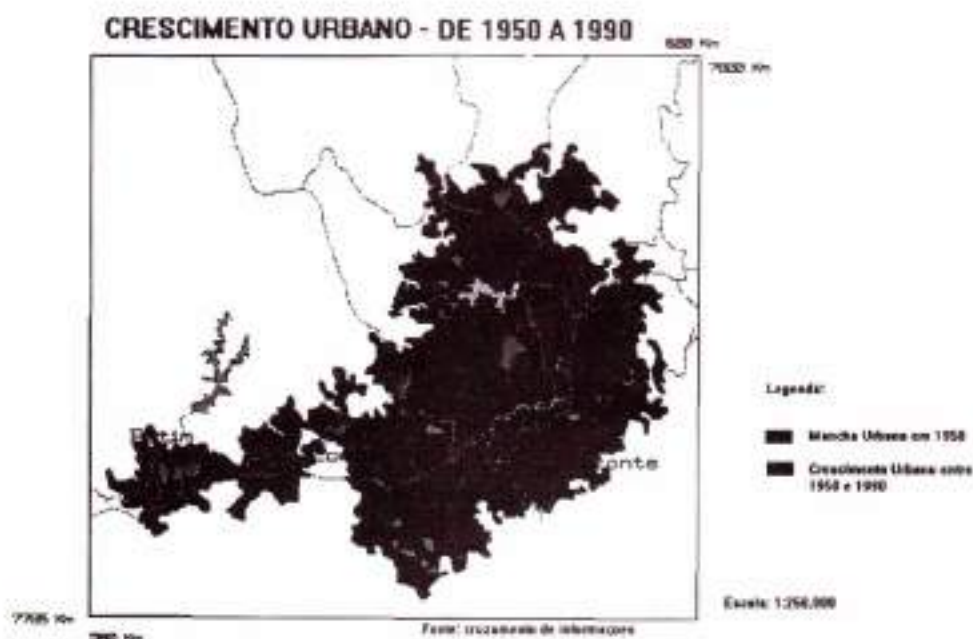


Figura 4 - Sobreposição de dois planos: mancha urbana em 1950 (cor preta) e mancha urbana em 1990 (cor preta granulada)

#### REFERÊNCIAS:

- E.T.Carvalho. Aspectos geológicos-tectônicos e suas relações com elementos de natureza sócio econômica e cultural no sítio urbano de Belo Horizonte. Situação Ambiental e Qualidade de Vida em Belo Horizonte - MG I (1985), 21-55 (Anais do Simpósio).
- C. Foresti; T.G. Florenzano; G. Erthal; M. Godói Jr. Integração de dados de satélite SPOT com um modelo digital de terreno para avaliação de impacto ambiental. Congresso Brasileiro de Cartografia 14 (1989), 686-689 (Anais do Congresso).
- C.R. Maio. Compartimentação geoambiental da Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG), RBG 49 (2) 117-137, 1987.
- S.M.F. da Costa. SPOT imagery for classification of urban land use: a comparison with LANDSAT TM imagery A study of Belo Horizonte area. ISPRS Congress 17 (1992) 575-582 (Proceedings of ISPRS Congress).

# Proposta Metodológica para Avaliação da Qualidade de Vida Urbana a Partir de Dados Convencionais e de Sensoriamento Remoto, Sistema de Informações Geográficas (SIG) e de um Banco de Dados

Vânia Aparecida Ceccato \*

Celina Foresti \*\*

Maria de Lourdes N. de O. Kurkdijan \*\*

## ABSTRACT

*Due to increasing urbanization process very often associated with life quality deterioration, more efficient methods for evaluating the standard of living in Brazilian cities have become necessary. Despite acquisition, availability and reliability difficulties the intra urban conventional data (statistical data, map, etc) is still the main source of data for this type of study. Higher quality results can be obtained when combining conventional data with remote sensing data. This combination increases the generation capacity of new products containing more detailed information from urban space. The integration of a Geographical Information System (GIS) to a relational database can be useful to manipulate this information. Thus allowing the generation and manipulation of new data in a flexible and accurate way by automation resources. This paper proposes a preliminary methodology of urban life quality evaluation integrating conventional data and remote sensing data by a GIS and relational database. This methodology is based on a conceptual model involving the following variables: salary of urban population (income), contagious disease occurrence (health), violent crimes occurrence (criminality) and environmental variables extracted from remote sensing products like vegetation density (green areas) and built space pattern (texture).*

## 1 QUALIDADE DE VIDA: CONCEITOS E PERSPECTIVAS DE ESTUDO

A partir da década de 40, o processo de urbanização no Brasil foi impulsionado pelo desenvolvimento da atividade industrial, e indiretamente, por políticas públicas voltadas à integração nacional.

A região sudeste por exemplo, área de "vocação" industrial, sofreu diretamente os reflexos do processo de industrializa o/urbaniza o. Tal fato desencadeou uma ocupa o desordenada e muitas vezes irracional do espaço urbano, rompendo o frágil equilíbrio até então existente entre as potencialidades sócio ambientais e as necessidades da popula o urbana.

Este desequilíbrio levou, em muitos casos, a uma ocupa o não planejada do espaço urbano onde o

acesso   moradia e aos serviços públicos tornou-se seletivo, no aumento gradual da violência, na degrada o ambiental, a qual   tolerada até o momento em que causa prejuízos diretos   saúde humana, além de outros problemas relacionados   deteriora o da qualidade de vida urbana.

Como resultado deste processo, atualmente, alguns segmentos da sociedade discutem e exigem garantias de manuten o ou de melhorias da qualidade de vida nas cidades brasileiras. Isto vem sendo realizado principalmente através da a o direta das esferas de planejamento, as quais possuem desde 1988, com a nova carta constitucional, maior respaldo legal:

*"todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial   sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e   coletividade o dever de defendê-lo e preservá-*

(\*) Professora da UNIVAP

(\*\*) Pesquisadoras do INPE

lo para as futuras gerações". (art. 225 da Constituição da República Federativa do Brasil)

A primeira questão que se coloca é o que é "qualidade de vida?"

Segundo Diaz (1985), o termo qualidade de vida está associado comumente a uma gama de conceitos tais como: bem-estar, condições de vida, nível de vida, satisfação e estilo de vida dos cidadãos, amenidades ambientais, entre outros.

O mesmo autor afirma que os primeiros estudos sobre qualidade de vida datam do século passado. Uma das definições do termo qualidade de vida refere-se à "combinação dos elementos físicos que compõem as atitudes materiais e culturais da população, num conjunto de valores, normas de conduta e dos fatores geográficos que constituem o meio no qual a população satisfaz suas necessidades básicas de alimentação, saúde, habitação, educação, lazer, segurança, condições de trabalho, vestuário, entre outras".

Atualmente, os vários conceitos de qualidade de vida ressaltam as diversas abordagens associadas ao tema. Entre eles destaca-se o caráter subjetivo definido por Saarinen e Gibson (1980), e Abaleron (1987) no qual enfatizam a percepção da população frente a certas dimensões da qualidade de vida urbana, avaliam os graus e formas de percepção do espaço pelo indivíduo ou grupo social, que é resultado de um juízo de valor sobre o espaço vivido.

Alguns estudos associam algumas variáveis dinâmicas, tais como migração, aos indicadores subjetivos e objetivos de qualidade de vida, como é o caso de Myers (1988). O mesmo autor estabeleceu um sistema de relações entre o processo de desenvolvimento, qualidade de vida e planejamento urbano.

Os trabalhos de Clark et al. (1988) e Blomquist et al. (1988) caracterizam a vertente econômica destes estudos, os quais evidenciam os aspectos quantificáveis de qualidade de vida urbana.

Independente da abordagem, a dificuldade na escolha das variáveis para o estudo da qualidade de vida urbana reside na complexidade intrínseca do tema, ou seja, a diversidade das variadas dimensões da vida urbana.

No Brasil, a seleção das variáveis depende também de problemas relacionados à natureza, disponibilidade, e confiabilidade dos dados convencionais intra-urbanos.

A título de exemplo, destaca-se o caso dos dados de renda populacional, saúde e criminalidade, os quais são considerados, conforme a literatura existente, como os principais indicadores da estratificação social e permite, em grande parte, avaliar a qualidade de vida de uma dada população.

No caso dos dados de renda, estes são adquiridos pelo IBGE somente ao nível de setor intra-urbano, os quais variam de tamanho a cada período censitário. Tal fato impede possíveis comparações multitemporais entre setores, já que não existe uma unidade mínima constante de análise.

Frente à aparente dificuldade de se medir a "saúde" da população, geralmente assume-se alguns indicadores diretos, entre eles a ausência de doenças e a taxa de mortalidade. Neste caso, os próprios dados sobre doenças podem apresentar problemas no que se refere aos registros. Estes vão desde a negligência por parte do informante ou órgão responsável pelo registro até a declaração de informações incorretas pelo paciente (como endereço falso, etc) que levariam, consequentemente, a um diagnóstico incorreto do estado da saúde da população.

Para contornar estes problemas, a saída é utilizar alguns indicadores indiretos, os quais possam informar sobre as condições do meio ambiente ou a situação dos serviços de saúde, ambas influenciando nos níveis sanitários, que venham corroborar com os dados sobre a ausência ou presença de doenças, os denominados indicadores diretos (Dallari, 1991).

Conforme Massena (1986), no Brasil os dados de criminalidade apresentam também problemas específicos de registro. O tipo de crime, o grau de confiança que a população tem na polícia, a forma que é realizado o levantamento dos dados e a distribuição desigual das delegacias podem subestimar ou superestimar o número de registros, gerando algumas distorções na análise.

Apesar das grandes dificuldades de acesso, disponibilidade e confiabilidade dos dados intra-urbanos convencionais (dados estatísticos, mapas, cartas, relatórios, etc), estes constituem-se ainda na principal fonte de dados para estudos voltados ao ambiente urbano.

Como alternativa, os produtos de sensoriamento remoto podem ser importante fonte complementar de informação para este fim, pois constitui-se numa fonte rápida, econômica e precisa em comparação com os dados convencionais. No caso do espaço intra-urbano, é possível setorizá-lo a partir da identificação de diferentes padrões texturais e/ou espectrais, os quais representam formas distintas de arranjo dos elementos que compõem o espaço construído.

Além dos problemas relacionados ao tempo gasto na coleta como também ao custo, depender somente de dados convencionais como fonte para estudos relativos ao espaço urbano, significa também, manipular um grande volume de dados (muitas vezes de natureza distinta) que sejam suficientes para representar as diversas dimensões da cidade, sejam físicas ou sócio-econômicas.

Nestes casos, a utilização de um Sistema de Informação Geográfica (SGI) pode ser de grande utilidade pois este permite a execução de operações de manipulação e geração de novas informações de forma rápida e precisa, através de recursos da automação.

Outra grande ferramenta é o banco de dados relacional que permite a manipulação de uma grande massa de dados (supressão, adição, alterações dos dados ou somente consulta) que é fundamental para os estudos do espaço urbano, dado a dinâmica com que se realiza as suas transformações.

O propósito deste trabalho é apresentar preliminarmente à comunidade uma proposta metodológica que utiliza a tecnologia de sensoriamento remoto, SIG e banco de dados para avaliação da qualidade de vida urbana. Inicialmente, apresentam-se considerações acerca da utilização do sensoriamento remoto, do SIG e banco de dados como instrumentos potenciais para o estudo do espaço urbano.

## 2 A UTILIZAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO COMO FONTE DE DADOS PARA A ANÁLISE DO ESPAÇO INTRA-URBANO: DADOS SÓCIO ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

Um grande número de características físicas visíveis do ambiente urbano agem como indicadores do "status" sócio-econômico dos seus residentes (Metivier e MacCoy, 1971) e da qualidade ambiental urbana.

Estas características geralmente incluem a combinação dos aspectos qualitativos e quantitativos da qualidade residencial como: tamanho do lote, número de construções por lote, áreas verdes, presença de calçamento, entre outros (Metivier e MacCoy, 1971) que, quando combinados, formam arranjos espaciais diferenciados, passíveis de serem obtidos na maioria dos casos, por produtos de sensoriamento remoto de alta resolução.

As diferenças dos padrões espaciais urbanos puderam ser estudados, desde a década de 50, por meio de fotografias aéreas. Conforme Green e Monier (1959) os dados de sensoriamento remoto vem sendo utilizados para preencher a lacuna existente entre a disponibilidade de certas categorias de dados espaciais relacionados à estrutura social da cidade e suas relações com o ambiente natural. Nesta abordagem, enquadram-se todos os estudos que tratam da identificação, mapeamento dos indicadores sócio-econômicos e/ou ambientais do espaço intra-urbano a partir de produtos de sensoriamento remoto. Na Tabela 2.1, são apresentadas as principais tendências destes estudos.

Tabela 2.1 - Análise da Estrutura sócio-econômica; principais tendências

Autor	Tipos de dados	Tendências
Green, 1957	Fotografias aéreas pancromáticas na escala $\geq 1:10\ 000$	Avaliação da estrutura social da cidade assumindo a correlação entre características físicas observáveis nas fotografias aéreas e seu significado sociológico
Green e Monier, 1959 Rush e Vernon, 1975	Dados demográficos e sócio-econômicos (convencionais pré-existent)	
Mumbower e Donoghue, 1967 Wellar, 1968 Marble e Horton, 1969	Fotografias aéreas pancromáticas e infravermelhas. Escala variando de 1:6 000 a 1:30 000	Obtenção de informações sócio-econômicas em áreas que vivenciam a pobreza
Metivier e McCoy, 1971	Dados demográficos e sócio-econômicos (convencionais pré-existent)	
Davies et al., 1973 Chanond e Leekbhai, 1986	Dados de Campo	
Manso et al., 1979	Fotografias aéreas pancromáticas na escala $\geq 1:10\ 000$	Propostas metodológicas de setorização e análise sócio-econômica intra-urbana
Monsen Jr., 1984 Kurkdjian, 1987 Forster, 1988	Dados orbitais HRV/Spot e TM/Landsat	

Os dados extraídos de fotografias aéreas apresentaram boa correlação com dados demográficos e sócio-econômicos (dados de total de população, rendimentos, desemprego, criminalidade, composição étnica, ocorrência de doenças, etc.), o que os define como importantes indicadores da condição sócio-econômica e ambiental da população. Para as cidades

brasileiras, o estudo de Kurkdjian (1987) se constitui no principal exemplo desta linha de estudo.

Entretanto, o uso dos padrões texturais em imagens orbitais de alta resolução, principalmente com os satélites de segunda geração (TM/LANDSAT e HRV/SPOT), ainda não foi muito explorado. Cabe ainda investigar a potencialidade destes padrões na imagem como indicadores das desigualdades ocorrentes no mosaico urbano e por sua vez, da caracterização sócio-econômica-ambiental da população urbana.

Dentre os elementos naturais que compõem a cidade, a vegetação é considerada o principal indicador da qualidade ambiental. Isto porque ela atua junto a todos os outros indicadores (qualidade do ar, da água, solos, fauna e clima) como elemento de equilíbrio indispensável ao ambiente urbano. Em produtos fotográficos (principalmente infravermelho), a vegetação é de fácil identificação pois se destaca espectralmente junto às feições artificiais que compõem o ambiente construído, em meio a massa de concreto, asfalto, telhados, solo, etc. Numa escala em torno de 1:10.000, é possível mapear e quantificar a vegetação arbórea/arbustiva e herbácea/gramínea dentro do espaço urbano.

Já em imagens orbitais, dados sobre a vegetação podem ser extraídos a partir da aplicação de algoritmos específicos (Índices de vegetação), que permitem a definição de classes de densidade de vegetação. Trabalhos recentes como o de Foresti e Pereira (1987) e Carrara (1991), afirmam que o produto resultante deste tipo de processamento funciona também como um bom estimador da qualidade urbano-ambiental em áreas onde a infraestrutura urbana encontra-se padronizada.

Na Tabela 2.2, são apresentadas os principais estudos com vegetação intra-urbana e suas respectivas tendências, utilizando produtos e técnicas de sensoriamento remoto.

Tabela 2.2 - Análise da vegetação intra-urbana: principais tendências

Autor	Tipos de dados	Tendências
Troppmair, 1976 Sander, 1983 Brown e Winer, 1986 Azam, 1989 Jim, 1989a e 1989b	Fotografias pancromáticas e infravermelhas na escala $\leq$ 1:10 000	Análise em detalhe da vegetação urbana, geralmente relacionada a outras características da área, tais como: classes de cobertura de solo, dados de população, índices de poluição, etc
Sadowisk et al., 1987 Lohman e Altrogge, 1988 Setojima et al., 1988	Fotografias pancromáticas e infravermelhas na escala $\geq$ 1:10 000  Produtos orbitais MSS e TM/Landsat	Produtos orbitais associados a outros tipos de dados (fotográficos e mapas temáticos), através dos quais fez-se uma avaliação destes para o estudo da vegetação intra-urbana
Howarth e Boasson, 1983  Foresti, 1986 Foresti e Pereira, 1987 Carrara, 1981	Algoritmo de índice de vegetação  Produtos orbitais MSS e TM/Landsat e HRV/Spot	Uso de algoritmos de índice de vegetação aplicados aos dados orbitais como ferramenta básica para a avaliação da qualidade ambiental, segundo a distribuição espacial da vegetação

### 3 SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) E BANCO DE DADOS: INSTRUMENTOS POTENCIAIS PARA INTEGRAÇÃO DE DADOS DE QUALIDADE DE VIDA URBANA

Um dos mais importantes aspectos a serem considerados em estudos urbanos é a dimensão espacial. É através dela que se define, com precisão, medidas que venham subsidiar a ação governamental para a manutenção e melhoria das condições de vida de uma dada população.

Neste sentido, o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) podem ser instrumentos eficazes no processo de aquisição, armazenamento, recuperação e saída de dados espaciais, dada a dinâmica e a diversidade características do espaço urbano.

O Sistema Geográfico de Informação, o SGI (desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE), está voltado para as tarefas de integração de dados de sensores remotos, mapas e outras fontes de dados. Desta forma, é possível entrar, integrar e plotar variáveis de qualidade de vida urbana numa única base de dados geocodificados, por exemplo, ao nível de quadra.

Esta tarefa é facilitada quando associa-se ao SGI um banco dados relacional que permite, entre outras coisas, a **reclassificação** e o **cruzamento** de variáveis numa única planta cadastral. Este sistema associa a uma feição gráfica produzida pelo SIG, sua respectiva caracterização através de uma estrutura lógica de dados.

A **reclassificação** permite a visualização em tela ou a produção em cartas de temas ligados à qualidade urbana de maneira flexível e rápida, como por exemplo, a classificação da vegetação, a ocorrência de crimes violentos, classes de rendimentos da população, entre outros.

O **cruzamento** é realizado a partir de regras de classificação sobre as variáveis já existentes no banco de dados. Isto é realizado de forma precisa e rápida através da criação de uma nova informação, resultante da correlação espacial entre duas ou mais variáveis, como por exemplo, entre áreas deficientes de infraestrutura urbana e ocorrência de doenças transmissíveis ligadas ao ambiente.

Alguns trabalhos realizados comprovam a eficiência destas duas tecnologias, SGI e banco de dados, aplicados ao planejamento municipal, entre os quais destaca-se, no INPE, o de Escada (1992).

### 4 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE VIDA URBANA: UMA PROPOSTA METODOLÓGICA

A proposta de estudo é baseada em hipóteses fundamentadas na revisão teórica (sobre o objeto de estudo: qualidade de vida urbana; e sobre as técnicas utilizadas: sensoriamento remoto, SIG e banco de dados relacional). Como meio de orientação ao estudo, cabe aqui destacá-las:

- setores residenciais com semelhantes padrões de renda possuem condições físicas similares (espaço contruído e densidade de áreas verdes), e portanto apresentam padrões de textura e classes de índice de vegetação semelhantes na imagem orbital. Através da identificação destes espaços na imagem, pode se chegar à análise das características típicas de cada segmento da população;
- os sistemas de informações geográficas associados a um banco de dados relacional permitem a entrada, o armazenamento, a manipulação e a saída de forma flexível de dados espaciais de qualidade de vida urbana.

A partir dos pressupostos iniciais, foram definidos os objetivos bem como as etapas de trabalho (fluxograma de atividades). Para atingir o objetivo geral, que é o de desenvolver uma proposta metodológica de avaliação da qualidade de vida urbana utilizando dados convencionais e de sensoriamento remoto, SIG e banco de dados relacional, foram definidos alguns objetivos específicos:

- (1) desenvolver um modelo conceitual de qualidade de vida urbana utilizando na sua implementação, dados de sensoriamento remoto e convencionais (pré-existent);
- (2) testar em alguns módulos da imagem orbital a relação entre padrões de textura e classes de índice de vegetação e níveis de renda da população;
- (3) avaliar a utilidade do banco de dados relacional integrado ao SIG, para o fim em questão;
- (4) avaliar a qualidade de vida da população da área de estudo (como teste foi escolhida uma cidade média do interior do Estado de São Paulo - Rio Claro) a partir do modelo conceitual desenvolvido.

Como é apresentado no fluxograma de atividades, figura 1, a proposta metodológica se divide em duas frentes de trabalho: a primeira, se preocupa com a avaliação dos produtos orbitais como fonte de dados para o estudo da qualidade de vida urbana e a segunda, com o desenvolvimento e avaliação do banco de dados associado ao SGI, como instrumentos de integração de dados.

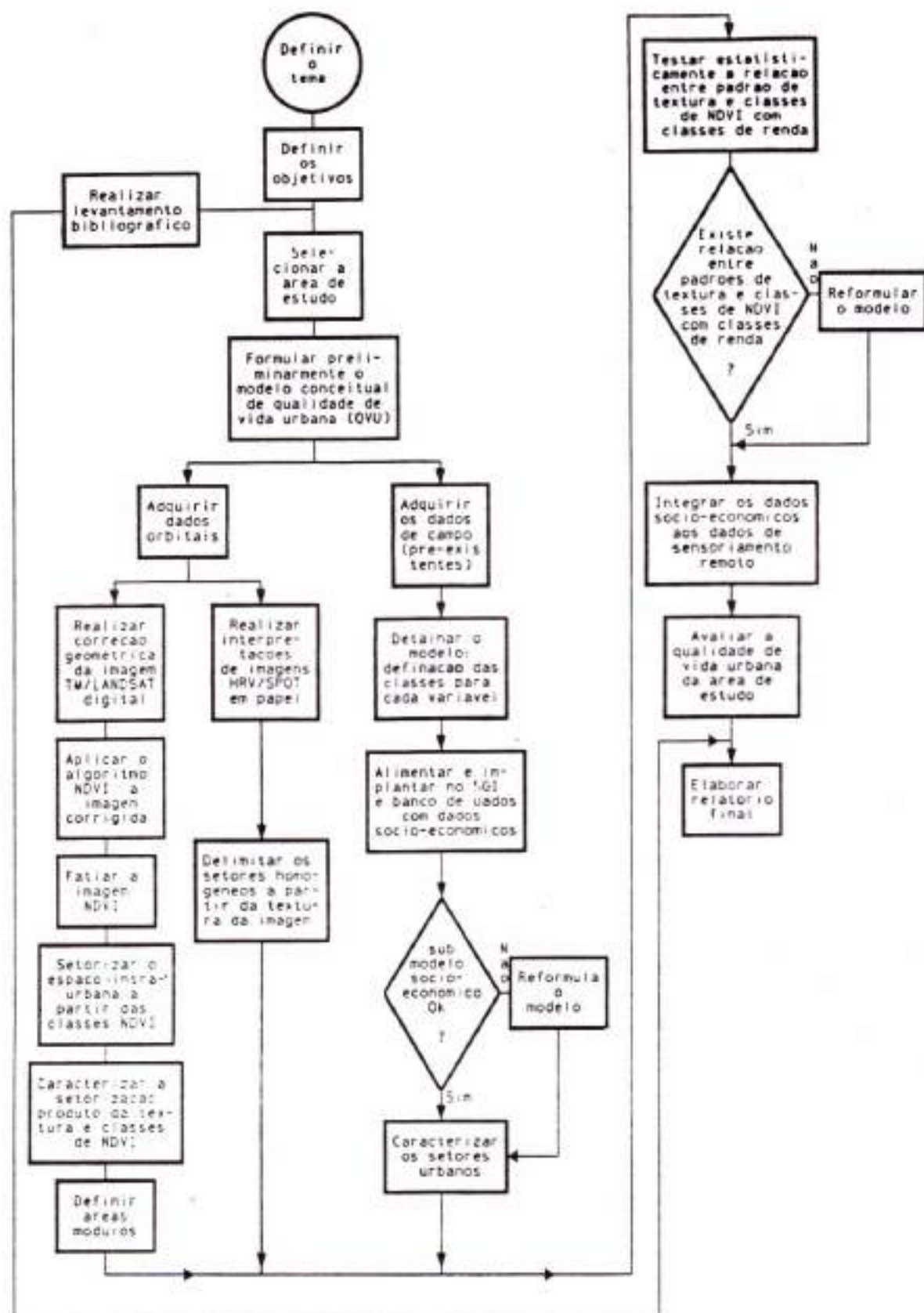


Figura 1 - Fluxograma de Atividades

A escolha das variáveis (tipo e quantidade) do modelo conceitual de qualidade de vida urbana dependeu de alguns fatores, entre eles destacam-se:

- a importância de cada variável como indicador de qualidade de vida, segundo a literatura existente;
- a natureza deste estudo (o qual busca avaliar técnicas e produtos de sensoriamento remoto para o diagnóstico de algumas dimensões da qualidade de vida urbana);
- a acessibilidade, a disponibilidade e a representatividade espacial das variáveis;
- as características da cidade-teste: Rio Claro - SP (algumas variáveis, como infraestrutura, não foram utilizadas no modelo pois se apresentam quase que homogeneamente pelo espaço urbano);
- a disponibilidade de tempo para execução do trabalho.

O modelo conceitual de qualidade de vida formulado envolve: rendimentos da população (renda), ocorrência de algumas doenças transmissíveis (saúde), ocorrência de crimes violentos (criminalidade) e variáveis ambientais, como a densidade de vegetação (áreas verdes) e o espaço construído (textura).

## 5 REFERÊNCIAS

- Abaleron, C.A. Condicionantes objetivos y percepción subjetiva de calidad de vida en áreas centrales y barrios o vecindarios. *Revista Geográfica*, (5/6):103-142, 1986/1987.
- Azam, J. Use of aerial photographs to inventory and monitor environmental pollution. *ITC Journal*, (1):15-20, 1989.
- Blomquist, G.C.; Berger, M.C.; Hoehn, J. New estimates of quality of life in urban areas. *The American Economic Review*, 78(1):89-107, 1988.
- Brown, D.E ; Winner, A.M. Estimating urban vegetation cover in Los Angeles. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(1):117-123, jan. 1986.
- Carrara, A.L.R. *Análise dos índices de vegetação em áreas urbanas obtidos dos dados TM-Landsat e HRV-SPOT*. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991, 101p.
- Chanond, C.; Leckhai, C. Small format aerial photography for analyzing urban housing problems: a case study in the Bangkok metropolitan region. *ITC Journal*, (3):197-205, 1986.
- Clark, D.; Kahn, J.R.; Ofek, H. City size, quality of life, and the urbanization deflator of the GNP: 1910-1984. *Southern Economic Journal*, 54(3):701-714,
- Dallari, S.G. *A saúde do brasileiro*. São Paulo, Moderna, 1987, 88p. (Coleção Polêmica)
- Davies, S.; Tuyahov, A.; Holz, R. Use of remote sensing to determine urban poverty neighborhoods. In: Holz, R.K. ed. *The surveillance science remote sensing of the environment*. Houghton Mifflin, Austin, 1973, 386-390p.
- Díaz, K. Los estudios geográficos sobre la calidad de vida en Venezuela. *Revista Geográfica*, (102):55-72, jul.-dic. 1985.
- Escada, M.I.S. *Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para o planejamento de espaços livres urbanos de uso coletivo*. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisa Espaciais, São José dos Campos, 1992, 133p. (INPE-441-TDI/487)
- Foresti, C. *Avaliação e monitoramento da expansão urbana do setor oeste da área metropolitana de São Paulo: análise através de dados e técnicas de sensoriamento remoto*. (Tese de Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 10986, 173 p.
- Foresti, C.; Pereira, M.D.B. *Utilização de índices vegetativos obtidos com dados do sistema TM-Landsat no estudo da qualidade ambiental urbana: cidade de São Paulo*. São José dos Campos, INPE, maio 1987, 17p. (INPE-4177-PRE/1071)
- Forster, B.C.; Jones, C. Urban density monitoring using high resolution spaceborne systems. In: *International Symposium on Photogrammetry and Remote Sensing*, 16., Kyoto, 1988. Comissão 7. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Kyoto, ISPRS, 1988, v.27, Part B9, p.189-195.
- Green, N.E. Aerial photographic interpretation and social structure of the city. *Photogrammetric Engineering*, 23(1):89-96, March 1957.
- Green, N.E.; Monier, R.B. Aerial photographic interpretation and human ecology of the city. *Photogrammetric Engineering*, 25(5):773, Dec. 1959.
- Howarth, P.J.; Boasson, E. Landsat digital enhancements for change detection in urban environments. *Remote Sensing of Environment*, 13(2):149-160, 1983.

- Jim, C.Y. Tree canopy cover, land use and planning implications in urban Hon Kong. *Geoforum*, 20(1):57-68, 1989(a).
- Tree-canopy characteristics and urban development in Hong Kong. *The Geographical Review*, 79(2):210-225, Apr. 1989(b)
- Kurkdjian, M.L.N. Um método para identificação e análise de setores residenciais urbanos homogêneos, através de dados de sensoriamento remoto. (Tese de Doutorado em Arquitetura) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.
- Lohman, P.; Altrogge, G. The use of Spot and Ciraerial photography for urban planning. In: *International Symposium on Photogrammetry and Remote Sensing*, 16., Kyoto, 1988. Comission 7. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Kyoto, ISPRS, 1988, v.27, Part B9, p.196- 205.
- Manso, A.P.; Oliveira, M.L.N.; Barros, M.S.S. Determinação de zonas homogêneas através de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, 1979, 35 p.
- Marble, D.F.; Horton, F.E. Extraction of urban data from high and low resolution images. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 6., 13-16 Oct. 1969. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1969, v.2, p.807-818.
- Massena, R.M.R. A distribuição da criminalidade violenta na região metropolitana do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia*, 48(3):285-330, 1986.
- McCoy, R.M.; Metivier, E.D. House density vs. socioeconomic conditions. *Photogrammetric Engineering*, 39(1):43-47, Jan., 1973.
- Myers, D. Building knowledge about quality of life for urban planing. *Journal of the American planning Association*, 54(3):347-358, 1988.
- Metivier, E.D.; McCoy, R.M. Mapping urban poverty housing from aerial photographs. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 7., 17-21, May, 1971. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, ERIM, 1971, v.2, p.1563-1569.
- Monsen Jr, R.P. Socio-economic units as a basis for remote sensing interpretation of cultural phenomena. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 10(2):167-189, 1984.
- Mumbower, L.; Donoghue, J. Urban poverty study. *Photogrammetric Engineering*, 33(6):610-619, June, 1967.
- Rush, M.; Vernon, S. Remote sensing and urban public health. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 41(9):1149- 1155, Sept., 1975.
- Saarinén, T.F.; Gibson, L.J. Change in public perceptions of environmental quality indices: a Tucson example. *Geographical Perspectives*, (46):13-23, 1980.
- Sadowski, F.G.; Sturdevant, J.A.; Rowntree, R.A. Testing the consistency for mapping urban vegetation with high-altitude aerial photographs and Landsat MSS data. *Remote Sensing of Environment*, (21): 129-141, 1987.
- Sanders, R.A. Configuration of tree canopy cover in urban land uses. *Geographical Perspectives*, (51):49-53, 1983.
- Setojima, M.; Horiuchi, T.; Hirose, Y.; Kogio, K. Functional analysis of urban green cover using Spot data and geographical information. In: *International Symposium on Photogrammetry and Remote Sensing*, 16., Kyoto, 1988. Comission 7. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Kyoto, ISPRS, 1988, v.27, Part B4, p.624- 633.
- Troppmair, H. Estudo biogeográfico das áreas verdes de duas cidades médias do interior paulista: Piracicaba e Rio Claro. *Geografia*, 1(1):63-78, 1976.
- Wellar, B.S. Utilization of multiband aerial photographs in urban housing quality studies. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 5., Ann Arbor, MI, 16-18 Apr. 1968. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1968, v.2, p.913- 926.

# Influência da geometria de visada na reflectância espectral de duas gramíneas forrageiras

Ademir Fernando Morelli \*

Antonio Roberto Formaggio \*\*

José Carlos Neves Epiphânio \*\*

## ABSTRACT

*The objective of this research was to evaluate the influence's valuation of view geometry variation in spectral behaviour of herbaceous vegetation and soil, underlying in composition pastures for Brachiaria decumbens Stapf. cv. Basilisk Stapf and Brachiaria brizantha Stapf. cv. Marandu. The methodology development involved the report analysis between the spectral reflectance and the biophysics parameters of herbaceous vegetation and soil. For this purpose radiometric and biophysics measurements were done for 25 vegetation samples and one soil sample, in experiment areas of 1000 m<sup>2</sup>, for each species. The multispectral bidirectional reflectance measurements (500 to 1100 nm) were obtained in the view zenith angles ( $\theta_v$ ) of 0°, 15°, 30°, 45° and 60° for three sectors of azimuthal plain ( $\phi_v = 0^\circ, 90^\circ$  and  $180^\circ$ ), with the solar zenith angle variation controlled for an amplitude of the 10° ( $\theta_s = 45^\circ$  to  $55^\circ$ ) and the solar azimuthal variation compensated in the acquisition method. The following vegetation parameters were measured: fresh and dry biomass, fresh and dry green biomass, droughty biomass and leaf and stems; water content of total, green and droughty biomass, Leaf Area Index (LAI) and percentage of canopy cover. The soil parameters available were color, roughness and chemistry composition. This research intent was the comprehension of physical mechanisms involved in the directional reflectance factor distribution of complete homogeneous vegetation canopies and its influences in the relation between spectral behavior and vegetation parameters. The general scattering behavior was coherent with the dynamics observed in the literature and was supported by two principal phenomena: the "phase function" and "geometric effect I". The major trends observed in the reflectance factor occurred in the azimuth in the principal plane of the sun ( $\phi_s = 0^\circ$  and  $180^\circ$ ), while the minor trends occurred in the azimuth direction perpendicular to the principal plane of the sun ( $\phi_v = 90^\circ$ ). For all view angles and spectral bands the minimum reflectance occurred near nadir ( $\theta_v = 0^\circ$ ) and increased with increasing view zenith angles for all azimuth directions. This trend is caused by the shading of lower canopy layers, by components in the upper layers and by viewing different proportions of the layer components as the view angle changes ("effect I"). In some cases by an additional effect of "phase function", the reflectance minimum was shifted slightly off-nadir in the forward scattering direction ( $\phi_s = 0^\circ$ ). This shift was maximized for occurrence of reproductive structures in the top layers of cover, because this structure is vertical and opaque. The near infra-red band was less influenced by view geometry variation than in the spectral bands of visible, because in the near infra-red band the transmittance was nearly equal to the reflectance for most structural components of herbaceous vegetation, while in the visible the reflectance is major, consequently the "effect I" is maximized. The major information content about vegetation cover was obtained in the principal plane of the sun, in the backscattering direction ( $\phi = 180^\circ$ ), than showed better relationships to the vegetation parameters, because of the occurrence of "hot spot". The vegetation parameters of production and water content showed the best correlations, because its parameters have more association to the near infra-red, that exhibited the better performance than visible bands, more associated to LAI and fresh and dry biomass components. The "effect I" was the dominant phenomenon with controlled the directional reflectance distributions observed, but had its effects altered by the action of additional phenomenon "phase function".*

(\*) Professor da UNIVAP

(\*\*) Pesquisadores do INPE

## 1 - INTRODUÇÃO

Uma nova geração de satélites de observação da terra está sendo introduzida, com capacidade de direcionamento de visadas oblíquas longitudinais e transversais à trajetória. Estes incluem o já operacional SPOT ((Système Pour l'Observation de la Terre) ( $\sim 27^\circ$  transversalmente à trajetória)) e os propostos satélites da série EOS (Earth Observing System), MISR (Multangle Imaging Spectroradiometer), HIRIS ((High-Resolution Imaging Spectrometer) ( $\sim 45^\circ$  transversalmente e  $+52^\circ/-30^\circ$  longitudinalmente à trajetória)) e MODIS ((Moderate Resolution Imaging Spectrometer), o MODIS T ( $\sim 50^\circ$  longitudinalmente) e o MODIS N ( $\sim 55^\circ$  transversalmente)). Adicionalmente o uso dos já existentes sistemas sensores aerotransportados e orbitais com grande ângulo de varredura, tais como a maioria dos sistemas fotográficos, os imageadores multiespectrais aerotransportados e os satélites da série NOAA/AVHRR ((Advanced Very High-Resolution Radiometer (campo de visada com  $\sim 56^\circ$ )) incrementam grandemente o volume de dados obtidos com ângulos de visada oblíquos (Barnsley, 1983; NASA, 1990).

O sensoriamento remoto direcional oferece grandes vantagens sobre o sensoriamento remoto estritamente no nadir. Uma das vantagens é o incremento da cobertura espacial e temporal das superfícies. Os sistemas radiométricos com grandes ângulos de varredura permitem aumento da área coberta para qualquer particular órbita e os satélites com capacidade de direcionamento de visada aumentam a frequência observacional sem incremento do número de satélites em órbitas simultâneas. Mas a maior vantagem é a de permitir o estudo da FDRB (Função de Distribuição de Reflectância Bidirecional) das superfícies terrestres, com o desenvolvimento de métodos e técnicas que explorem a variabilidade angular destes dados espectrais (Kimes et al., 1984a).

Entretanto, a aplicação do sensoriamento remoto direcional na interpretação de imagens de coberturas vegetais é bastante dificultada pelo caráter marcadamente anisotrópico destas superfícies, sendo que a geometria de visada determina a sua resposta espectral (Suits, 1972). Há necessidade de estudos básicos dos efeitos da variação da geometria de visada no comportamento espectral das superfícies vegetais, com a caracterização da FDRB destas superfícies.

Estudos em radiometria de campo provêm as bases para o entendimento da FDRB de coberturas vegetais, relacionando-a quantitativamente aos parâmetros biofísicos da vegetação herbácea e do solo subjacente.

Em tais estudos, analisa-se a relação funcional entre a reflectância direcional multiespectral e os parâmetros biofísicos, sendo fundamentais para o entendimento dos mecanismos físicos da transferência de radiação envolvidos na dinâmica da FDRB de coberturas vegetais.

Entretanto, a maioria dos experimentos empíricos em campo (p. ex. Kimes, 1983; Guyot, 1984), não avaliam quantitativamente a influência da variação da geometria de visada no relacionamento entre os parâmetros biofísicos e os indicadores espectrais, restringindo-se à descrição da dinâmica do fator de reflectância bidirecional e suposições dos mecanismos físicos da transferência radiativa.

No Brasil, poucos são os estudos básicos sobre o comportamento espectral da vegetação. O INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), principal instituto de pesquisas em sensoriamento remoto, só recentemente iniciou os estudos fundamentais da vegetação, com as pesquisas básicas se concentrando na análise radiométrica e modelagem do comportamento espectral de culturas agrícolas (Batista, et al., 1988; Formaggio, 1989; Formaggio e Epiphânio, 1988 e 1990).

Em consideração à área ocupada (21% do território nacional), à importância econômica e à potencialidade de aplicação das técnicas do sensoriamento remoto em pastagens, poucos são os estudos básicos sobre seu comportamento espectral, restringindo-se aos de Pereira (1986); Santos (1988); Valeriano e Pereira (1988), inexistindo os que enfocam a dinâmica da reflectância direcional desta cobertura, fundamentais para o sensoriamento remoto direcional. Estudos em sensoriamento remoto direcional com a caracterização da FDRB de pastagens permitem o desenvolvimento de técnicas e métodos para a extração de informação sobre esta cobertura, a partir da análise da distribuição espacial e angular dos dados espectrais.

### 1.1 - OBJETIVOS

#### 1.1.1 - OBJETIVO GERAL

Avaliação da influência da variação da geometria de visada no comportamento espectral da vegetação herbácea e do substrato subjacente em pastagens compostas por *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilik e *Brachiaria brizantha* Stapf cv. Marandu.

#### 1.1.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- a - Caracterização da composição e dos aspectos geométricos da vegetação herbácea e do solo subjacente em pastagens compostas por

*Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilik e *Brachiaria brizantha* Stapf cv. Marandu;

- b - Caracterização da distribuição angular da reflectância bidirecional multispectral, obtida em diferentes geometrias de visada, para a vegetação herbácea e para o solo subjacente, em pastagens compostas por *Brachiaria decumbens* Stapf cv. Basilik e *Brachiaria brizantha* Stapf cv. Marandu;
- c - Análise das relações funcionais entre a reflectância bidirecional multispectral obtida nas diferentes geometrias de visada e os parâmetros biofísicos da vegetação herbácea e do solo subjacente em pastagens, em função da geometria de visada na aquisição dos dados espectrais.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1-FATORES CONTROLADORES DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE PASTAGENS

Métodos de extração de informação das superfícies vegetais por sensoriamento remoto baseiam-se na análise da distribuição espectral e angular da REM sobre tais coberturas. A distribuição espectral é determinada, principalmente pelas propriedades ópticas dos constituintes da cobertura. A distribuição angular é dependente principalmente das características estruturais da vegetação e da geometria de aquisição.

Para o desenvolvimento de métodos de extração de informação que explorem a distribuição espectral e angular da reflectância da vegetação, é necessário o entendimento dos mecanismos físicos da transferência radiativa para os vários comprimentos de onda como uma função:

- a- da estrutura geométrica da vegetação, que é importante informação usada para discriminar e classificar várias formas e funções de coberturas vegetais;
- b- das propriedades ópticas das coberturas vegetais e do solo subjacente que fornecem informações da sua composição química e estrutura física.
- c- da geometria de aquisição, que determina a resposta espectral de alvos altamente anisotrópicos como o complexo vegetação-solo em pastagens.

#### Estrutura Geométrica da Vegetação

A Estrutura Geométrica da Vegetação (EGV) é o maior determinante da distribuição angular da REM em coberturas vegetais (Kimes e Kirchner, 1984). A

EGV pode ser descrita quantitativamente por parâmetros biofísicos como a distribuição das plantas no terreno, o Índice de Área Foliar (IAF), o Índice de Cobertura (IC) e a Função de Distribuição Angular das Folhas (DAF). Tais parâmetros variam espacialmente e temporalmente de acordo com o tipo de vegetação, o estágio de desenvolvimento e as condições da vegetação. Para gramíneas, podem ocorrer mudanças significativas na DAF no decorrer do dia, devido a fatores como movimentos heliotróficos das folhas, condições ambientais (p.ex. vento), e condições fitossanitárias (estresse, doenças) (Kimes, 1984). A EGV é muito complexa, heterogênea e transiente, o que dificulta grandemente sua medição e quantificação.

#### Propriedades ópticas da vegetação e do solo

Na vegetação herbácea, as folhas são os elementos estruturais que tem o papel mais importante no comportamento espectral da cobertura vegetal. As folhas são a unidade funcional na complexa interação com a REM, como coletores de luz apresentam pigmentos e adaptações anatômicas que otimizam a interceptação da radiação para a fotossíntese, resultando em um padrão próprio de comportamento espectral (Valeriano, 1988).

#### Geometria de aquisição

Para a análise da resposta espectral bidirecional da vegetação em função da geometria de aquisição dos dados espectrais é fundamental o conhecimento da dinâmica da reflectância bidirecional de coberturas vegetais. Os fatores de reflectância bidirecional que cobrem inteiramente o hemisfério de reflexão como uma função do AZS (Ângulo Zenital Solar), AAS (Ângulo Azimutal Solar), AZV (Ângulo Zenital de Visada) e AAV (Ângulo Azimutal de Visada), são usados para caracterizar a radiação refletida por uma cobertura vegetal (Kimes et al., 1985). Medidas do fator de reflectância bidirecional são a melhor aproximação possível para representar a Função de Distribuição de Reflectância Bidirecional (FDRB) que pode ser obtida em campo (Kimes et al., 1980). Kimes (1983) e Guyot (1984), baseados em dados obtidos em campo e por modelagem, propuseram os dois principais mecanismos físicos que controlam a dinâmica da reflectância bidirecional: o "efeito geométrico 1" e a "função de fase".

Segundo Kimes (1983) o efeito 1 é primariamente causado pelo sombreamento das camadas inferiores da cobertura vegetal pelos componentes das camadas superiores e pela visada de diferentes proporções dos componentes das camadas com a variação do ângulo zenital de visada. Os princípios físicos envolvidos são

discutidos profundamente em Kimes (1993). Os padrões de reflectância bidirecional também são dependentes de um outro efeito, denominado na literatura de "Função de fase" (Kimes, 1984, Kimes et al., 1985). O conceito geral da função de fase, foi definido por Chandrasekher (1960), os mecanismos físicos que explicam essa função foram discutidos por Kimes (1984). A função de fase é um componente muito importante no controle da dinâmica direcional da resposta espectral de uma cobertura vegetal, pois define o espalhamento anisotrópico para qualquer ponto particular de interação da cobertura, como sendo uma função do AAS, DAF e das propriedades de reflectância e transmitância foliar (Kimes, 1984).

Kimes et al. (1984a), baseados na análise da dinâmica da reflectância bidirecional de diversas culturas, demonstraram os ângulos de visada oblíquos ótimos em relação a duas estratégias de extração de informação. A primeira estratégia visa a utilização de medidas com AZV oblíquos como extensão à cobertura espectral e temporal a medições em AZV verticais. Os AZV ótimos são aqueles que minimizam a variação na resposta do sensor relativa à resposta no nadir; são AZV que estão na direção azimutal perpendicular ao plano principal do Sol para todas as superfícies vegetais e ângulos solares. A segunda estratégia visa a utilização de medidas com AZV oblíquos como incrementadores do conteúdo de informação sobre as características físicas do alvo. Os AZV oblíquos ótimos são aqueles que, relativos a AZV verticais, provêm informação adicional e/ou superior sobre as características do alvo. Concluíram que AZV oblíquos ótimos são aqueles com o azimute no plano principal do Sol para todas as superfícies e bandas espectrais. O desenvolvimento metodológico baseou-se nessas duas estratégias, com a geometria de aquisição priorizando a variação dos dados espectrais.

### 3 - MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 - MATERIAL

Para as medidas radiométricas utilizou-se o espectroradiômetro Spectron SE-590, que adquire um espectro radiométrico em 256 bandas na faixa de 368,4 nm a 1113,7 nm. Para maiores informações ver o manual de referência Steffen (1988).

Como sistema de suporte à aquisição empregou-se um mastro de elevação composto de um braço de extensão e uma base de sustentação dos sensores. Utilizaram-se também sistemas de controle das variáveis envolvidas no processo de aquisição. A configuração dos sistemas está exposta em Morelli (1993).

#### 3.2 - Métodos

A pesquisa foi realizada no Instituto de Zootecnia de Nova Odessa - SP, no período de junho a julho de 1991. Aplicando-se critérios de representatividade em área cultivada e extensão dos cultivos selecionaram-se as espécies *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*. As duas espécies são as mais cultivadas extensivamente em área no Brasil e continuam em processo de expansão da área cultivada.

##### Aquisição de dados espectrais e biofísicos

##### Aquisição e processamento dos dados espectrais

Foram realizadas medições radiométricas para 25 amostras da vegetação e para uma amostra do solo em áreas experimentais de 1000 m<sup>2</sup>, para cada espécie. As medidas da reflectância bidirecional multiespectral (500 a 1100 nm) foram obtidas segundo o método de aquisição sugerido por Kimes (1983), nos ângulos zenitais de 0, 15, 30, 45 e 60 graus para 3 setores do plano azimutal (0, 90 e 180 graus), com a variação do ângulo zenital solar controlada para uma amplitude de 10 graus (45°-55°) e a variação azimutal solar compensada no método de aquisição. A variação azimutal em relação a EGV foi minimizada intra ângulos zenitais de visada, pelo curto período de aquisição, e compensada entre ângulos azimutais de visada, pela aquisição em dias diferentes, mas no mesmo período (horário) de aquisição (mesmo AZS e AAS) (tabelas 3.1 e 3.2). Fotografias verticais e do perfil da vegetação documentaram os locais e a área amostrada, para o estabelecimento do índice de cobertura da fitomassa verde, da fitomassa seca, do solo exposto e a distribuição e intensidade de sombras em cada um destes componentes, além de registrar o estágio fenológico da vegetação. Após a fase de aquisição, os espectros foram processados no programa Espectro (Steffen, 1988). O processamento envolveu a transferência, a filtragem de ruídos, a ordenação dos espectros e o cálculo do fator de reflectância. O programa permitiu ainda a transferência dos espectros para uma planilha de cálculo, onde realizou-se a correção do fator de reflectância e o cálculo da reflectância média para as bandas espectrais do Spectron compreendidas entre as bandas TM1 (450-520nm), TM2(520-600nm), TM3 ( 630-690nm) e TM4 (760-900).

Tabela 3.1 - descrição do processo de aquisição dos dados espectrais para *Brachiaría decumbens*:

AZV	DIA	AAS início	AAS final	VAR AAS	AZS início	AZS final	VAR AZS
0	03/06	65	48	17	49	43	6
15	02/06	47	14	33	43	44	1
30	02/06	12	6	6	44	55	11
45	01/06	20	1	19	44	55	11
60	01/06	28	15	13	43	49	6

Tabela 3.2- Descrição do processo de aquisição dos dados espectrais para *Brachiaría brizantha*

AZV	DIA	AAS início	AAS final	VAR AAS	AZS início	AZS final	VAR AZS
0	18/07	12	8	4	44	51	7
15	18/07	41	12	29	43	44	1
30	17/07	12	6	6	44	55	11
	18/07	57	45	12	44	43	1
45	17/07	26	10	16	43	48	5
60	16/07	66	22	44	49	43	6

#### Aquisição e processamento de dados biofísicos

Realizou-se a amostragem biofísica nas mesmas amostras medidas radiometricamente aplicando-se o método do corte e pesagem da fitomassa. Assim, obtiveram-se os seguintes parâmetros biométricos da vegetação: Fitomassa total fresca (FTT\_PU) e seca (FTT\_PS), fitomassa verde fresca (FTV\_PU) e seca (FTV\_PS), fitomassa seca fresca (FTS\_PU) e seca (FTS\_PS), teor de água total (TAFTT) e da biomassa verde (TAFTV) e seca (TAFTS), folhas verdes fresca (FV\_PU), folhas secas (FS\_PU), colmos verdes (MV\_PU) e secos (MS\_PU). Para a estimação do índice de cobertura (IC) empregou-se técnica fotográfica. O índice de área foliar (IAF) foi determinado por planimetria e relacionamento do peso com a área foliar e a distribuição angular das folhas estratificada por altura da cobertura (DAFE) foi obtida através de uma bússola e um clinômetro acoplado. Parâmetros biofísicos coletados do solo foram a classificação da cor do solo segundo a tabela Munsell, textura e rugosidade.

#### 4.- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dada a similaridade do comportamento espectral entre as duas espécies de gramíneas e ao reduzido espaço, apresentam-se somente os resultados e a discussão para *Brachiaría brizantha*.

#### 4.1 - COMPOSIÇÃO DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA E DO SOLO SUBJACENTE *BRACHIARIA BRIZANTHA*

Tabela 4.1 - estatísticas descritivas dos parâmetros biofísicos da cobertura de *Brachiaría brizantha*.

Parâmetros	Média	Desvio Padrão	Proporção (%)	Variabilidade (%)
FTT(PU)	4 136,00	892,50	100,00	21,00
FTT(PS)	2 519,45	504,25	100,00	20,00
FTV(PU)	2 734,40	586,41	66,11	21,01
FTV(PS)	1 505,92	427,67	59,77	27,82
FTS(PU)	1 401,60	443,57	33,89	31,01
FTS(PS)	993,47	353,89	39,43	34,90
FV(PU)	1 062,65	320,66	39,09	29,32
FS(PU)	566,45	389,29	80,55	69,18
MV(PU)	2 165,77	627,74	23,1	34,11
MS(PU)	334,02	226,67	38,83	63,18
TAFTT	1 616,63	504,50	39,09	30,58
TAFTV	1 228,49	369,62	44,93	29,48
TAFTS	408,13	169,95	29,12	40,80
IAF	5,64	1,59		

#### Substrato

O substrato é constituído de solo exposto, ser-papilheira, parte dos colmos e raízes superficiais. Os colmos e as raízes não foram retirados para não modificar as condições originais do substrato e da rugosidade superficial. O solo do local é classificado como Podzólico vermelho-amarelo variação laras, segundo caracterização da Comissão Nacional de Solos, (CNS\_SNPA, 1989). Sua análise química revelou a seguinte composição: pH = 5,6; carbono 1,10%; c, em mg por 200 ml de TFSA,  $PO_4^{3-} = 0,08$ ;  $K^+ = 0,18$ ;  $C^{2+} + mg^{++} = 1,30$ ; Al = ausente.

#### 4.2 - ESTRUTURA GEOMÉTRICA DA COBERTURA

##### Distribuição Angular Estratificada das Folhas

Os estratos superiores e inferiores da cobertura apresentam características de distribuição pronunciadamente distintas. Os 3 estratos superiores (60 a 90 cm) classificam-se, quanto à frequência dos ângulos de inclinação foliar, como erectófilos (maior frequência de ângulos zenitais entre 0 e 3,6°) e conseqüentemente sem orientação azimutal, enquanto os estratos inferiores (60 cm) classificam-se como plagiófilos (maior frequência de ângulos entre 30 e 40°) e sem preferência de orientação azimutal (ângulos azimutais entre 0 e 360°).

### 4.3 - Caracterização da distribuição angular da reflectância bidirecional multiespectral de *B. brizantha*

Para a caracterização da distribuição da reflectância analisaram-se as variações azimutais e zenitais dos FRBMs obtidos em diferentes AAV e AZV. As figuras 4.1, 4.2 e 4.3 apresentam os valores absolutos, as variações azimutais e zenitais dos FRBMs, respectivamente. Os mecanismos físicos envolvidos na dinâmica observada são analisados a seguir.

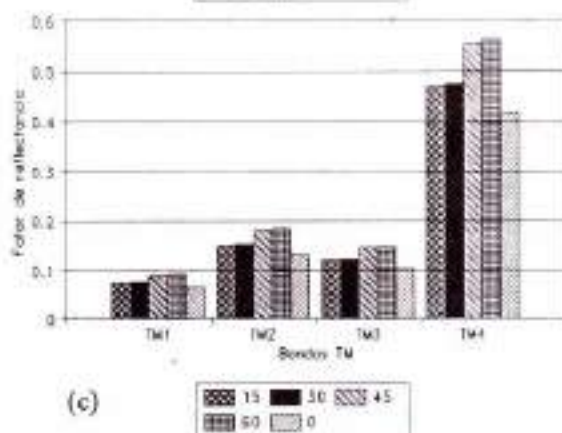
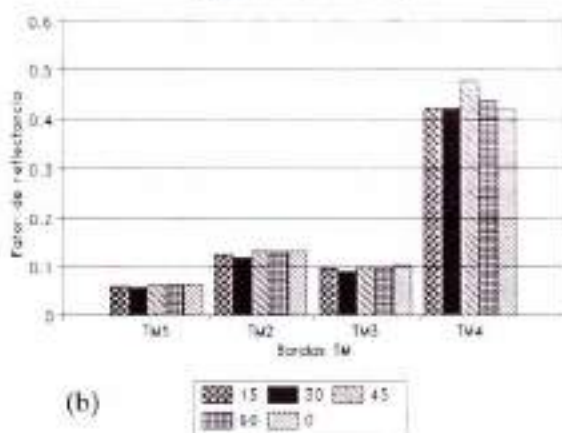
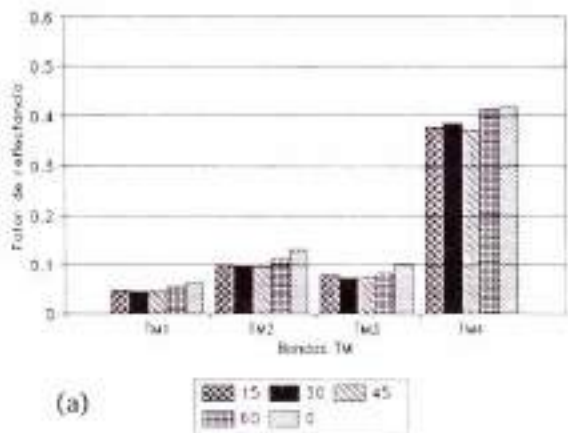


Fig. 4.1 - Valores absolutos dos FRBMs para os AAV de (a) 0, (b) 90 e (c) 180 graus para *B. brizantha*.

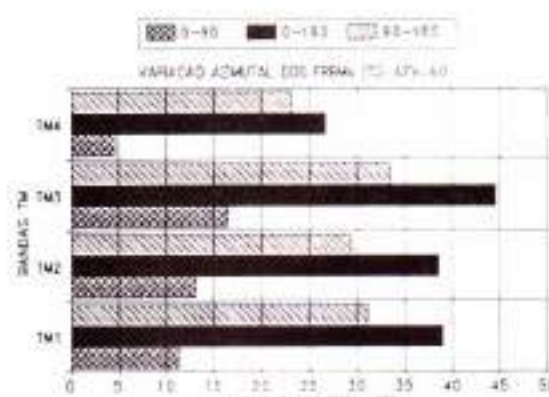
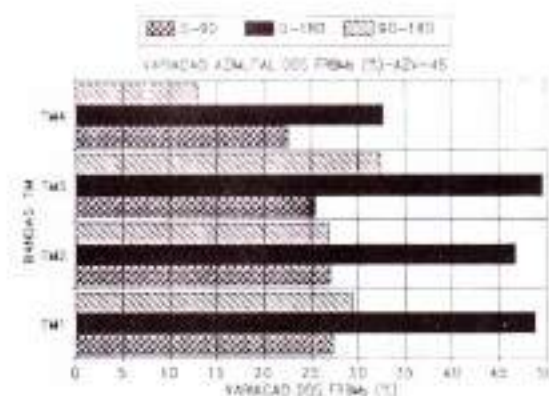
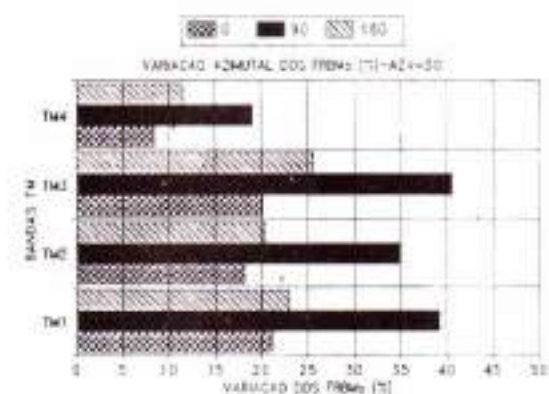
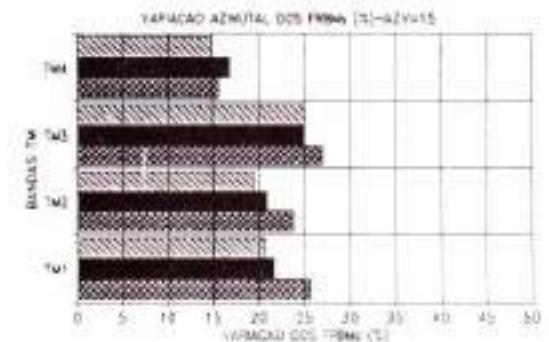


Fig. 4.2 - Variação azimutal relativa dos FRBMs para *B. Brizantha* nos AZV de 15, 30, 45 e 60 graus

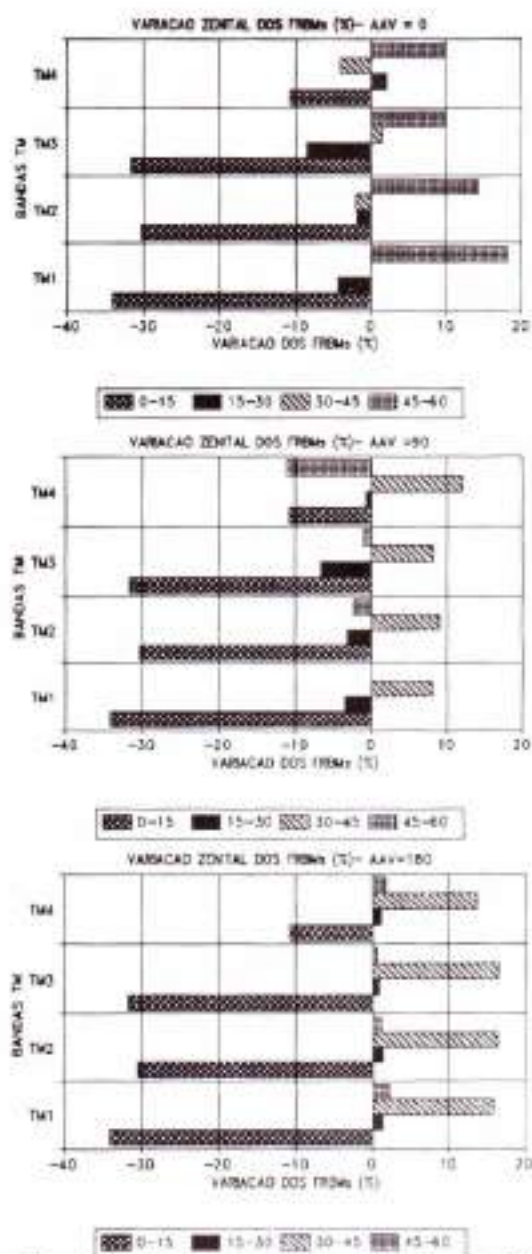


Fig. 4.3 - Variação zenital relativa dos FRBMs para *Brachiaria brizantha* para os AAV de 0°, 90° e 180°.

As maiores variações zenitais ocorreram no AAV de 180° e foram coerentes às encontradas por Goel (1986), Guyot (1984), Kimes (1983), Kimes et al. (1984a), para coberturas completas de gramíneas e estão relacionadas, principalmente ao efeito da EGV conhecido como "efeito 1" (Kirchner et al., 1982). As mínimas reflectâncias ocorreram para visadas na direção do sol (AAV = 0°), ocorrendo valores negativos em relação ao nadir. Segundo Kimes (1984), isto se deve ao efeito aditivo da função de fase: o sensor visa uma alta proporção de faces sombreadas dos componentes da vegetação que não estão expostas à radiação solar direta.

Entretanto, se este fosse o único mecanismo operante, esperar-se-ia o decréscimo da reflectância com a visada na direção do sol, para todos os AZV, o que não aconteceu. Teoricamente conforme Guyot (1984), a reflectância mínima deve ocorrer somente para AZV até 30°, devido ao efeito 1 ser dominante para os AZV maiores. Este desvio da reflectância mínima com o aumento do AZV ocorre para AZS menores que 55°, devido à distribuição do fluxo solar interceptado, como uma função da altura na cobertura ser mais uniforme que em AZV extremos (AZS maiores que 55°) (Kimes, 1983). Assim, o efeito 1 é minimizado para AZV entre 0 e 30°, enquanto o efeito da função de fase na diminuição da reflectância com o aumento do AZV é aparente. Para AZV maiores que 30°, o efeito 1 é maximizado; no entanto, ainda se observa o efeito da função de fase, que incrementa mais os FRBMs no AAV de 180° em relação aos AAV de 0 e 90 graus.

Seguindo esta lógica, deve-se esperar que com o aumento da densidade da vegetação menor será o desvio, desde que se intensifique o efeito 1. Kimes (1983) observou desvios para o mínimo de reflectância para coberturas completas e densas de gramíneas para o vermelho e IVP. Entretanto, embora a cobertura fosse densa, o desvio para o mínimo ocorreu até o AZV de 45°, onde ainda ocorreram valores menores que os do nadir, sugerindo uma maior ação da função de fase. Conforme Kimes (1983), adicionalmente ao efeito da variação na proporção de faces sombreadas (quantidade de sombras), deve-se considerar a intensidade do sombreamento, que é dependente do comprimento de onda. Assim, quanto maior a transmitância menor será o desvio, uma vez que a intensidade de sombreamento será menor. Para as monocotiledôneas, como a gramínea *B. brizantha*, que apresentam mesófilos compactos, há uma maior transmitância para o visível e IVP do que para as dicotiledôneas (mesófilo diferenciado), que possuem pouca superfície de contato entre o ar dos espaços intercelulares e as paredes celulares, o que resulta numa menor frequência na mudança de trajetória da radiação (Knippling, 1970a). Se para uma maior transmitância foliar é esperado um menor desvio, outros componentes da cobertura podem ter influenciado. Um fator adicional que pode estar interferindo é a presença de inflorescências e colmos nas camadas superiores. A associação de componentes verticais e opacos, provoca a maximização da variação azimutal e consequentemente do desvio para o mínimo no AAV de 0°, num efeito aditivo da função de fase. Segundo Kimes (1984), quando a reflectância da cobertura é significativamente maior que a sua transmitância, a reflectância mínima ocorre em uma grande extensão, a partir do nadir em direção ao AAV de 0° e 90°.

O que explica os valores dos FRBMs inferiores aos do nadir para todos os AZV, indicando um domínio da função de fase, principalmente para as bandas de absorção do visível, devido às propriedades de transmitância e reflectância da cobertura determinarem a essas bandas uma alta absorção, resultando em um maior desvio relativo. Ainda, para o AAV de 90° a maior influência da função de fase causou uma mínima variação nos FRBMs com o incremento do AZV, devido à redistribuição do fluxo espalhado entre as camadas da cobertura ser mais uniforme neste AAV, sendo o efeito 1 minimizado relativamente aos outros planos azimutais (Kimes, 1984). Estes mesmos mecanismos explicam também as maiores variações azimutais observadas entre os AAV de 0 e 180 graus e as menores entre os AAV de 0 e 90 graus. O menor valor do FRBM do AZV de 60° em relação ao de 45° no AAV de 90° foi determinado por uma conjugação entre o efeito 1 e a função de fase: Segundo o efeito 1, com o aumento do AZV, aumenta a contribuição relativa das camadas superiores (geralmente mais refletoras), em relação aos componentes das camadas inferiores. Ocorre que as camadas superiores da cobertura de *B. brizantha*, além de serem erectófilas, possuem estruturas opacas e bastante refletoras (inflorescências e colmos), que determinam uma maior retro-reflexão e, conseqüentemente, um menor espalhamento múltiplo e distribuição do fluxo nessas camadas, ocorrendo esta queda no fator de reflectância com o incremento do AZV para o AAV de 90°.

A tendência de uma maior variação absoluta e relativa entre os AZV de 30 e 45° nos AAV de 90 e 180 graus, pode ser decorrente da ocorrência dos picos principal e secundário de reflexão próximos ao AZV de 45°, visto que o AZS variou de 45 a 55 graus no período de aquisição. Gerstl (1986); Goel e Grier (1986) e Simmer e Gerstl (1985) também verificaram a ocorrência de uma maior variação da reflectância próximo aos picos principal (AAV de 180°) e secundário (AAV de 90°) de reflexão. Conforme Kimes et al. (1985) a exata posição do pico de reflexão em coberturas vegetais é determinada por uma complexa interação de vários fenômenos, incluindo, o espalhamento anisotrópico do solo, o efeito geométrico da vegetação, a função de fase para uma particular distribuição, orientação e propriedades ópticas e o efeito 1. Para o AAV de 0°, dada a menor amplitude do pico de reflexão, uma maior variação entre os AZV de 45 e 60 graus é esperada, como consequência da maior intensidade do efeito 1 nestes AZV extremos, pelos mecanismos físicos já mencionados.

Também as menores variações entre os AZV de 15 e 30 graus, para os AAV de 90 e 180 graus, são consequência da minimização do efeito 1, já que este ocorre com menor intensidade entre ângulos zenitais

mínimos. A menor variação entre os AZV de 30 e 45 graus no AAV de 0° é consequência do efeito aditivo da função de fase ao efeito 1, a ser explicada para as variações azimutais.

Considerando as variações zenitais em relação às bandas espectrais, uma menor variação relativa zenital e azimutal para a banda TM4 em todos os AAV é esperada, porque a transmitância e a reflectância da vegetação são aproximadamente idênticas nessa banda (cerca de 50% e 45%, respectivamente). Além disso, a reflectância foliar no IVP é relativamente alta, com o espalhamento múltiplo resultando em uma melhor distribuição entre as camadas da cobertura e, conseqüentemente, uma distribuição mais azimutalmente simétrica. Havendo um menor gradiente de interceptação e espalhamento da REM em função das camadas da cobertura, minimiza-se a atuação do efeito 1 (maior controlador das variações zenitais) e a função de fase intensifica-se. No entanto, as menores variações na TM4 ocorreram somente nos AAV de 0 e 180 graus, pois para o AAV de 90° esta banda foi a que mais variou. Esse comportamento deve-se principalmente à já discutida queda do valor do FRBM para o AZV de 60°, visto que esta banda foi a que apresentou a queda mais acentuada (11,16% na TM4 contra os 0,0%, 2,3% e -1,0% que ocorreram respectivamente para a TM1, TM2 e TM3). Este comportamento também foi observado por Barnsley (1984), mas a explicação para este comportamento anômalo do IVP e os mecanismos físicos que atuaram não estão ainda esclarecidos na literatura. Talvez, para este estudo, estejam relacionados às propriedades ópticas dos componentes opacos, que podem ter ocasionado a queda, mas que normalmente afetariam mais os FRBMs da banda do visível, pelo fato de serem fotossinteticamente ativos.

A menor variação relativa para a TM1 no AAV de 90° não foi coerente com a literatura. Para os demais AAV as maiores variações ocorreram no visível, dada a maior intensidade do sombreamento foliar nesta região do espectro, mas incoerentemente foi a banda do TM1 a que mais variou entre as do visível. Para o azul é esperado uma menor variação, dada a tendência de uma maior intensidade do processo de espalhamento atmosférico nesta banda, ocasionar uma melhor distribuição da REM incidente na cobertura e, conseqüentemente, um menor gradiente de interceptação e espalhamento em função das camadas da cobertura (Knipling, 1970; Kimes et al., 1985).

Uma maior variação no vermelho é esperada, pois nessa faixa as folhas absorvem a maioria da radiação incidente (Allen et al., 1969), resultando uma maior intensidade de sombreamento, sem o espalhamento atmosférico observado para o azul. Kimes (1983), Guyot (1984) e Goel e Thompson (1985) observou uma maior variação do vermelho para coberturas completas

de gramíneas. Entretanto, deve-se salientar que a diferença da TM1 em relação às outras bandas do visível foi pequena, com variações zenitais de 4,37% e 0,6% para a TM2 e 2,75% e 1,42% para a TM3; e com variações azimutais de 6,6%, 0,77%, 5,11% e 0,28% em relação à TM2, e de 1,38%, 3,09%, 1,75% e 13,3% em relação à TM3, respectivamente nos AZV de 15, 30, 45 e 60 graus. A menor variação azimutal absoluta e relativa na banda TM4 e as maiores para a banda do visível (na TM1 para o AZV de 15° e na TM3 para o AZV de 30, 45 e 60 graus) foram coerentes, tendo o comportamento explicado pelos mesmos mecanismos atuantes nas variações zenitais.

As variações azimutais foram superiores às zenitais para todos os AZV e AAV, indicando que embora o efeito geométrico da vegetação ("efeito I") domine sobre os outros mecanismos físicos para as variações zenitais, o efeito aditivo das variações previstas pela "função de fase", como orientação foliar, densidade das camadas e propriedades ópticas, dominou para as variações azimutais e alterou expressivamente a distribuição angular dos FRBMs, principalmente para as bandas do visível. Neste experimento, pelo fato da cobertura ser densa, erectófila e o AZS ser grande (AZS entre 45 e 55 graus) o efeito I foi maximizado, porque foi baixa a probabilidade de descontinuidades ("gaps"), ou seja, da radiação penetrar nas camadas inferiores, ficando uma grande proporção de irradiância solar espalhada pelas camadas superiores. Como consequência da maximização do efeito I ocorreu uma grande variação entre os valores dos FRBMs obtidos no nadir (AZV=0) e os oblíquos (AZV≠0). As maiores variações no plano paralelo e as menores no perpendicular ao plano solar, foram coerentes com a teoria do efeito I e da função de fase, os mecanismos que explicam esses fenômenos.

Nos AAV de 0 e 90 graus, as maiores variações verificadas para os AZV de 45 e 30 graus, respectivamente, são justificadas pela maximização do "desvio para o mínimo" ocorrida nos valores dos FRBMs nestes planos azimutais. A maior variação no AZV de 60° e a menor no de 15° para o AAV de 180° é consequente da amplitude na intensidade do efeito I com a variação do AZV, maior para grandes AZV e menor para pequenos AZV.

No AAV de 90° a "queda" da reflectância na TM4 entre os AZV de 45 e 60 graus, ocasionou a menor variação negativa neste azimute. Para a banda do visível todos os valores dos FRBMs foram inferiores aos obtidos no nadir para os AAV de 0 e 90 graus. As maiores variações ocorridas na banda do vermelho e as menores no IVP eram esperadas e já tiveram seus princípios físicos explicados nas teorias do efeito I e da função de fase. Conforme Kimes (1984) é esperado que coberturas próximas a erectófilas exibam relativamente

pouca variação na forma geral da distribuição da reflectância, porque o efeito I domina fortemente sobre os outros mecanismos. Entretanto, segundo o mesmo autor, análises de sensibilidade da reflectância e transmitância foliar e de outras estruturas da cobertura, demonstraram que variações nesses parâmetros podem alterar significativamente o comportamento azimutal, principalmente nas bandas do visível.

#### 4.5 - RELAÇÃO FUNCIONAL ENTRE A REFLECTÂNCIA BIDIRECIONAL MULTI-ESPECTRAL OBTIDA NAS DIFERENTES GEOMETRIAS DE VISADA E OS PARÂMETROS BIOFÍSICOS DA VEGETAÇÃO HERBÁCEA EM PASTAGENS COMPOSTAS POR *BRACHIARIA BRIZANTHA*.

Descreveu-se em nível geral a distribuição dos valores dos coeficientes para as correlações entre os FRBMs obtidos em diferentes geometrias de visada e os parâmetros biofísicos. Em seguida analisaram-se as relações específicas entre os FRBMs e os parâmetros biofísicos que caracterizam a produção, a disponibilidade de componentes, o teor de água e a estrutura geométrica da cobertura de *B. brizantha*. Para tanto, foram calculadas as médias dos valores em módulo dos coeficientes de correlação por AAV, AZV, banda espectral e parâmetro biofísico.

Em geral predominaram valores de coeficientes baixos e positivos, com uma média geral de 0,201. Os maiores valores médios dos coeficientes ocorreram no AAV de 180° (0,245) e os menores no AAV de 0° (0,201), com valores intermediários para o AAV de 90° (0,226).

Considerando as correlações por faixa espectral, a TM4 apresentou o maior valor médio para as correlações (0,254) e a TM3, o menor (0,175), para a maioria dos parâmetros biofísicos, com exceção da FTS(PS), onde se observaram valores médios superiores para a TM3 (0,287) e inferiores para a TM4 (0,225), do MS(PU), com valores superiores na TM4 (0,183) e inferiores com a TM2 (0,141), e do IAF, superior na TM1 (0,163) e inferior na TM4 (0,131).

Os parâmetros biofísicos caracterizadores da produção de fitomassa apresentaram os maiores valores dos coeficientes de correlação, seguidos dos indicadores do teor de água, da disponibilidade dos componentes da fitomassa e do IAF.

Para os AZVs de 45 e 60 graus as variações azimutais foram mais marcantes, resultando em alta variação nos valores dos coeficientes entre os diferentes AAVs e em comportamentos bastante distintos para cada tipo de parâmetro biofísico.

Realizada a descrição em nível geral, analisa-se a seguir, as relações específicas de cada grupo de

parâmetros caracterizadores da fitomassa e os FRBMs obtidos com a variação da geometria de visada.

### Produção

Em nível geral, para os parâmetros da produção de fitomassa total, FTT(PU) e FTT(PS), as correlações foram fracas, com valores médios de coeficientes de 0,225 e 0,216, respectivamente. O AAV de 180° apresentou os maiores valores médios dos coeficientes para os valores em peso úmido e seco da fitomassa (0,291 e 0,253), seguido dos AAV de 90° (0,270 e 0,234) e 0° (0,238 e 0,187). Zenitalmente, as maiores correlações ocorreram nos AZVs de 30° para a FTT(PU) (0,269) e de 15° para a FTT(PS) (0,323) e as menores no AZV de 0° para a FTT(PU) (0,055) e a FTT(PS) (0,122). O AZV de 45°, para os AAV de 0 e 90 graus, e o AZV de 60°, para o AAV de 0°, apresentaram um comportamento diferenciado dos demais AZVs, com tendências de correlações inversas. Espectralmente, as melhores correlações para a FTT(PU) e para a FTT(PS) ocorreram para a banda TM4 (0,347 e 0,325) e as piores na TM3 (0,161 e 0,159). Apesar dos baixos valores médios gerais, para determinadas geometrias de visada, observaram-se altos valores de coeficientes para as correlações com a FTT(PU) e FTT(PS).

Os parâmetros FTT(PU) e FTT(PS) tiveram os maiores valores dos coeficientes nas mesmas geometrias de visada, o que é esperado, dada a alta correlação observada entre os pesos úmidos e secos das medidas de fitomassa ( $r = 0,880$ ;  $p = 0,000$ ).

As melhores correlações ocorridas para os AZVs de 30 e 45 graus nos AAVs de 180 e 90 graus, podem estar associadas à maior intensidade da reflectância nestas geometrias de visada, devido à presença dos picos principal (AAV de 180°) e secundário (AAV de 90°) de reflexão para todas as faixas espectrais, que representaram melhor o volume da fitomassa, por apresentarem uma maior sensibilidade à arquitetura e às propriedades ópticas dos constituintes da cobertura conforme Bunnik (1978); Gerstl (1986); Guyot (1984) e Kimes (1983).

Os maiores valores dos coeficientes observados para as correlações na TM4 estão coerentes com os padrões de reflectância do dossel nesta banda, que respondem diretamente à densidade vertical da fitomassa, visto que esta faixa penetra na cobertura, espalha e reflete mais em relação às bandas no visível. Além disso, conjugado aos padrões normais da reflectância do IVP no nadir, o efeito geométrico 1, maximiza a reflectância nesta banda, ampliando os limites assintóticos da reflectância e melhor representando a fitomassa amostrada. Para as bandas TM1 e TM3 eram esperados valores negativos dos coefi-

cientes, dada a alta absorção pela fitomassa nessas faixas (Allen et al., 1968), mas esses só ocorreram no AZV de 45°. Esse comportamento inverso deve-se ao efeito 1, que provoca um aumento da reflectância com o incremento no AZV, principalmente na região do visível (a TM1 e a TM3 apresentaram as maiores variações azimutais, zenitais e em relação ao nadir), devido à menor penetração radiação na cobertura e à maior contribuição relativa das camadas superiores da cobertura, que refletem uma maior quantidade do fluxo solar (Kimes, 1983).

O AZV de 45° nos AAV de 0 e 90 graus e o AZV de 60° no AAV de 0° apresentaram padrões de reflectância distintos dos demais AZVs. Embora a maioria dos coeficientes não tenham sido estatisticamente significativos (somente a banda TM3 no AAV de 90° e AZV de 45°, foi significativo com  $r = -0,400$ ;  $p = 0,046$ ), este comportamento inverso merece atenção. O AZV de 45° nos AAVs de 0 e 90 graus, apresentou valores dos FRBMs inferiores aos obtidos no AZV de 15° (que apresentou valores inferiores ao nadir), devido à maximização do desvio da reflectância mínima, por princípios físicos já explicados e, principalmente, devido à presença de inflorescências, que determinaram esse comportamento atípico, que pode ter subestimado a fitomassa total e ocasionado as relações inversas observadas. Para o AZV de 60° no AAV de 0° os valores dos coeficientes aumentaram, mas não o suficiente para não subestimar a fitomassa, dados os baixos valores dos coeficientes apresentados nesse azimute. O comportamento normal para o AZV de 45° no AAV de 180°, deve-se à alta variação apresentada (as maiores variações azimutais e zenitais para esse azimute), incrementando os valores dos FRBMs e representando melhor as características da fitomassa da cobertura.

### Disponibilidade dos Componentes

Em geral, as correlações entre os parâmetros caracterizadores da disponibilidade de componentes apresentaram baixos valores dos coeficientes. Para os parâmetros FTV e FTS, os valores em peso seco apresentaram coeficientes superiores em relação ao peso úmido, observando-se para a FTV, valores de coeficientes de 0,230 e 0,255 e para a FTS, valores de 0,218 e 0,253, respectivamente para os valores em peso úmido e seco desses parâmetros. Os valores dos coeficientes das correlações entre os FRBMs e os componentes da FTV(PU) e FV(PU) ( $r = 0,149$ ) e MV(PU) ( $r = 0,210$ ) foram superiores aos verificados para os componentes da FTS(PU), FS(PU) ( $r = 0,137$ ) e MS(PU) ( $r = 0,165$ ).

Para todos os parâmetros os maiores valores dos coeficientes foram observados para as correlações com

os FRBMs obtidos no AAV de 180° e os menores no AAV de 0°. Considerando os AZVs que apresentaram os maiores e menores coeficientes, houve uma grande variação entre os componentes verdes e secos. A FTV em seus valores em peso úmido e seco, apresentou os maiores coeficientes no AZV de 15° (0,398 e 0,313) e os menores nos AZVs 0° (0,132) e de 45° (0,119). O componente FV(PU) apresentou melhores correlações no AZV de 0° ( $r=0,257$ ) e as piores no AZV de 60° ( $r=0,110$ ) e o componente MV(PU), apresentou as melhores com o AZV de 30° ( $r=0,280$ ) e as piores com o AZV de 0° ( $r=0,045$ ). Já a FTS para seus valores em peso úmido e seco, apresentou melhores correlações com os FRBMs obtidos no AZV de 45° ( $r=0,312$  e  $0,372$ ) e as piores com os obtidos no AZVs de 0° ( $r=0,147$ ) e 60° (0,160). O componente FS(PU) correlacionou-se melhor com os FRBMs obtidos no AZV de 45° ( $r=0,208$ ) e pior com os obtidos no AZV de 0° ( $r=0,102$ ) e o componente MS(PU), melhor com o AZV de 0° ( $r=0,290$ ) e pior com o AZV de 15° (0,088).

A TM4 foi a banda que melhor se correlacionou com os parâmetros FTV(PU) ( $r=0,328$ ) e FTV(PS) ( $r=0,298$ ) e seus componentes FV(PU) ( $r=0,185$ ) e MV(PU) (0,245). Para o parâmetro FTS, a TM4 apresentou melhores correlações com os valores em peso úmido ( $r=0,267$ ) e com os componentes FS(PU) ( $r=0,187$ ) e MS(PU) ( $r=0,182$ ) e a TM3 com os seus valores em peso seco ( $r=0,287$ ). Para a FTV e todos os seus componentes as piores correlações foram com a banda TM3, com valores médios de coeficientes para a FTV(PU) de 0,170, para a FTV(PS) de 0,175, para a FV(PU) de 0,130 e para o MV(PU) de 0,160.

A FTS(PU) e a FS(PU) tiveram as piores correlações com a TM2 ( $r=0,177$  e  $0,116$ , respectivamente).

Já a FTS(PS) e o componente MS(PU) apresentaram correlações mais fracas com a TM4 ( $r=0,225$ ) e com a TM2 ( $r=0,141$ ), respectivamente.

A alta variabilidade verificada para os valores dos coeficientes de correlação ocasionou baixos valores médios, que podem ter mascarado os altos coeficientes ocorridos para determinadas geometrias de visada.

Os maiores coeficientes encontrados para os valores em peso seco para os parâmetros FTV e FTS, devem-se à alta variabilidade verificada para os parâmetros TAFTV (29%) e TAFTS (40%), confirmada pelas fracas correlações entre os parâmetros FTV(PS) e TAFTV ( $r=0,077$ ;  $p=0,246$ ) e entre FTS(PS) e TAFTS ( $r=0,350$ ;  $p=0,047$ ), que causaram uma maior dispersão dos dados biofísicos para os valores em peso úmido. As melhores correlações com os componentes da FTV devem-se à maior sensibilidade espectral às propriedades ópticas dos constituintes fotossinteticamente ativos, principalmente na

região do visível, e às propriedades reflexivas do mesófilo das folhas verdes, para o IVP (Allen, 1969 e Knipling, 1970), que atuam fortemente nos mecanismos físicos da distribuição angular da reflectância. Além disso, a degeneração das propriedades ópticas e reflexivas das folhas ocorre de baixo para cima na cobertura, ficando a FTS concentrada nas camadas inferiores e as folhas e o material verde concentrados nas camadas superiores, que apresentam uma maior contribuição relativa na reflectância da cobertura com o aumento do AZV, principalmente para as bandas do visível e deve ter influenciado as respostas nos AZV oblíquos. Outro fator associado é a maior proporção dos componentes da FTV na cobertura e à menor variabilidade apresentada por esses componentes em relação aos da FTS. De fato, a proporção de FTV é de 79,2% (MV = 53,2% e FV = 26%) e a de FTS é de 20,8% (MS = 7,8% e FS = 13,2%) e a variabilidade é de 29% e 34% para a FV e o MV, respectivamente, em relação a 69% e 63%, apresentados pela FS e MS, respectivamente.

Os maiores valores dos coeficientes observados para o AAV de 180° devem-se à ocorrência do pico de reflexão nesse azimute. Os menores valores para o AAV de 0°, devido às mínimas reflectâncias ocorridas para as visadas na direção do Sol, ocasionaram valores negativos em relação ao nadir, uma vez que o sensor visa uma alta proporção de faces sombreadas dos componentes da vegetação que não estão expostas diretamente à irradiância solar direta (Kimes, 1983). Assim, o sinal da vegetação é muito fraco, com ruídos e baixa informação espectral nesse azimute (Gerstl, 1986).

Conforme Kimes (1983) e Kimes (1984), para coberturas completas de gramíneas, com alta densidade de fitomassa, a discriminação dos componentes fotossinteticamente ativos dos não ativos, relacionado às propriedades ópticas dos componentes da fitomassa, em função da variação da geometria de visada, são mais dependentes da atuação dos mecanismos da "função de fase". Tais mecanismos atuam mais fortemente até o AZV de 30°; a partir desse AZV outro mecanismo, o efeito geométrico I, passa a atuar com maior intensidade. Mais relacionado à Estrutura da Vegetação (EGV) e os efeitos dos parâmetros estruturais DAF, IAF e IC determinam mais a resposta da cobertura. Assim, explicam-se as maiores correlações da FTV e seus componentes com os FRBMs obtidos no AZV de 15 e 30 graus, onde o conteúdo de informação sobre as propriedades ópticas das folhas é superior, e as menores nos AZVs de 45 e 60 graus, onde dominam as informações sobre as características reflexivas da cobertura.

Para a FTS e seus componentes não fotossinteticamente ativos, a informação sobre as propriedades ópticas das folhas é mínima, dada a degeneração das

propriedades reflexivas, devido à despigmentação ocorrida com o processo de senescência foliar. Por outro lado a senescência não ocasiona a perda das propriedades reflexivas, que são devidas à estrutura do dossel e do mesófilo da folha, que são mais atuantes no IVP. Assim, justificam-se as maiores correlações ocorridas para a FTS e FS no AZV de 45° (no pico de reflexão), onde o conteúdo de informação sobre as características reflexivas da cobertura é máximo. Seguindo esta lógica, o AZV de 60° também deveria apresentar boas correlações. Talvez a presença de inflorescências na camada superior da cobertura (a contribuição relativa desta camada é máxima no AZV de 60°) tenha alterado o padrão normal da reflectância. De fato, para o AZV de 60° nos AAV de 0 e 90 graus, ocorreu uma queda da reflectância em relação ao AZV de 45°, enquanto esperavam-se valores superiores, dada a atuação do efeito 1. O parâmetro MS apresentou um comportamento bastante distinto dos demais componentes da FTS, para os valores médios. Entretanto, as geometrias de visadas específicas onde ocorreram as maiores correlações com esse parâmetro foram para os FRBMs obtidos no AZV de 45°, onde teoricamente era esperado.

Espectralmente, eram esperadas melhores correlações entre os componentes da FTV e FTS para as bandas no visível, dada a maior discriminação das propriedades ópticas das folhas verdes e secas nessa faixa, porém somente o parâmetro FTS(PS) apresentou melhores correlações com a TM3, sendo que os demais parâmetros se correlacionaram melhor com a TM4.

Uma explicação para isso está no fato de que a variação na geometria de visada afetou mais os padrões de reflectância no visível, principalmente no vermelho, conferindo-lhes um comportamento inverso ao esperado normalmente. Adicionalmente, as baixas correlações verificadas para os componentes da FTV e da FTS devem-se à menor penetração das bandas no visível na cobertura com a variação da geometria de visada, mais sensíveis às propriedades ópticas da vegetação, não alcançando a FTS, que se concentra mais nas camadas inferiores. Embora o IVP penetre mais na cobertura, esta faixa apresenta menor sensibilidade e discriminação entre constituintes fotossinteticamente ativos e não ativos. Corroborando as afirmações acima, os maiores valores médios dos coeficientes para os parâmetros MS(PU) e FV(PU) foram verificados no AZV de 0°, posição onde o sensor recebe mais o fluxo refletido pelas camadas inferiores da cobertura onde estão concentrados esses componentes. Considerando as geometrias de visada que apresentaram valores máximos dos coeficientes, novamente para a maioria dos parâmetros biofísicos, os maiores valores dos coeficientes foram observados

próximos aos picos principal e secundário de reflexão. Especificamente, a banda TM4 nos AAV de 180 e 90 graus, para os AZVs de 15 e 30 graus apresentaram os maiores coeficientes para os parâmetros FTV(PU), FTV(PS), FV(PU), MV(PU) e o AZV de 45° com os parâmetros FTS(PU), FTS(PS) e MS(PU).

#### Teor de água

As correlações entre os parâmetros do teor de água da fitomassa e os FRBMs obtidos com a variação da geometria de visada foram fracas, com os parâmetros TAFTT, TAFTV e TAFTS apresentando valores médios dos coeficientes de 0,220, 0,156 e 0,279, respectivamente.

Azimutalmente, os maiores coeficientes foram observados para as correlações com os FRBMs obtidos no AAV de 180° e os menores no AAV de 0°, para todos os parâmetros, com valores médios de (0,259 e 0,245), (0,154 e 0,114) e (0,346 e 0,292), respectivamente para os AAVs de 180 e 0 graus, para os parâmetros TAFTT, TAFTV e TAFTS. Zenitalmente, para o parâmetro TAFTT os maiores valores médios dos coeficientes foram observados para as correlações com os FRBMs no AZV de 30° (0,275) e as piores com os obtidos no AZV de 0° (0,052). Já os parâmetros TAFTV e TAFTS correlacionaram-se melhor com os obtidos no AZV de 15° ( $r=0,268$  e  $0,476$ , respectivamente) e pior com os AZVs de 0°, para o TAFTV ( $r=0,052$ ) e 45°, para o TAFTS ( $r=0,105$ ).

Quanto às correlações por banda espectral, na TM4 ocorreram os maiores valores médios dos coeficientes para todos os parâmetros, com valores de 0,309; 0,196 e 0,323, respectivamente para os parâmetros TAFTT, TAFTV e TAFTS. Os menores coeficientes foram observados na banda TM3 para os parâmetros TAFTT (0,187), TAFTV (0,134) e TAFTS (0,231). Como para as correlações com os parâmetros caracterizadores da produção e disponibilidade de componentes, observou-se um comportamento distinto do AZV de 45° para os AAV de 0 e 90 graus e do AZV de 60° para o AAV de 0°.

Os menores valores para os coeficientes das correlações com as bandas de absorção do visível devem-se ao efeito 1, que aumentando a reflectância com o incremento do AZV, alterou o comportamento inverso esperado na relação dos FRBMs com esses parâmetros. Na TM4 ocorreram as maiores correlações com todos os parâmetros, o que é coerente com a literatura, considerando-se que o desempenho do IVP como estimador do teor de água, seja o resultado da manifestação da alta reflectância que as folhas apresentam nesta faixa do espectro (Allen, 1968; Knippling, 1970a). Neste aspecto, são fundamentais as análises das relações entre os parâmetros carac-

terizadores da produção e disponibilidade dos componentes com os parâmetros do teor de água.

O parâmetro TAFTT apresentou moderadas correlações com a FTT(PS) ( $r=0,570$ ;  $p=0,003$ ), FTV(PS) ( $r=0,560$ ;  $p=0,002$ ) e FTS(PS) ( $r=0,670$ ;  $p=0,001$ ). Ocorreram baixos valores de coeficientes para as correlações entre os parâmetros TAFTV e FTV(PS) ( $r=0,077$ ;  $p=0,000$ ) e entre TAFTS e FTS(PS) ( $r=0,350$ ;  $p=0,356$ ).

Os valores moderados e baixos encontrados podem ser justificados pela alta variabilidade observada nos parâmetros que caracterizam o teor de água (30% para o TAFTT, 29% para o TAFTV e 40% para o TAFTS), e são responsáveis pelos baixos valores encontrados entre os parâmetros e os FRBMs.

Analisando especificamente as geometrias de visada que apresentaram os maiores valores dos coeficientes para os parâmetros caracterizadores do teor de água, nota-se que são similares aos obtidos para os parâmetros correspondentes caracterizadores da fitomassa. Esta similaridade corrobora a dedução de que os mesmos mecanismos operantes para as relações entre os FRBMs e os parâmetros caracterizadores da fitomassa, atuam para os caracterizadores do teor de água.

#### Índice de Área Foliar (IAF)

As relações entre os FRBMs obtidos nas diferentes geometrias de visada e o IAF não foram claras, predominando valores baixos de coeficientes, com uma média por parâmetro de (0,144).

Os maiores valores médios de correlação ocorreram no AAV de  $90^\circ$  (-0,193), seguido dos AAV de  $180^\circ$  (0,185) e  $0^\circ$  (0,174). O AZV de  $45^\circ$  apresentou as melhores correlações (0,221), seguido pelo AZV de  $60^\circ$  (0,166) e as piores correlações ocorreram nos AZVs de  $0^\circ$  (0,062) e  $30^\circ$  (0,090). Considerando as bandas espectrais, a TM1 e a TM3 apresentaram as maiores correlações ( $r=0,163$  e  $0,135$ , respectivamente) e a TM4, as piores ( $r=0,131$ ). Ocorreram valores de coeficientes significativos somente para as bandas TM1 e TM3 para o AAV de  $90^\circ$  no AZV de  $45^\circ$  ( $r=-0,440$ ;  $p=0,040$  e  $r=-0,400$ ;  $p=0,048$ ). Esses coeficientes negativos observados estão coerentes com o comportamento inverso esperado entre a reflectância e o IAF para essas faixas espectrais.

As melhores correlações verificadas para o AZV de  $45^\circ$  podem ser atribuídas à ocorrência dos picos principal (AAV de  $180^\circ$ ) e secundário (AAV de  $90^\circ$ ) de reflectância ("hot-spot") próximos a este AZV. Conforme Bunnik (1978) e Gerstl (1986), há uma maior sensibilidade da reflectância às alterações na distribuição angular, tamanho e densidade foliar da cobertura no "hot-spot", uma vez que nestes picos há

ausência de sombreamento mútuo das folhas, ou seja, o máximo de área foliar exposta diretamente à irradiância e conseqüentemente, uma maior reflexão.

A ocorrência destes picos e o efeito da "função de fase", que caracteriza a ocorrência da forte retro-reflexão no AAV de  $180^\circ$ , os menores valores no AAV de  $0^\circ$  e valores intermediários no AAV de  $90^\circ$ , conferiram aos AAV de  $90^\circ$  e  $180^\circ$  as melhores correlações e ao AAV de  $0^\circ$ , as piores. Os menores valores no AZV de  $0^\circ$ , devem-se às mínimas reflectâncias que ocorreram nesse AZV, já que para coberturas erectófilas o sensor no nadir visa uma grande proporção de superfície foliar que está aproximadamente paralela ao sensor e sombreada, refletindo pouco na direção do sensor.

Fatores relacionados às características da composição da fitomassa de *B. brizantha*, à técnica convencional de estimativa do IAF utilizada e aos fatores geométricos da variação da geometria de visada, causaram os baixos valores dos coeficientes e os valores negativos para as correlações com a TM2 e a TM4.

A baixa contribuição em peso do parâmetro FV para a FTT (26%) associada à variação na relação do peso por unidade de área foliar ocorrida entre amostras com diferentes FTT, foram as principais causas dos baixos valores. Esses fatores, provocaram uma subestimação, pelas técnicas convencionais, dos parâmetros FV e IAF para as amostras com maior FTT, sendo responsáveis pelos baixos valores e pelos coeficientes negativos observados para a TM2 e a TM4 nos AZV de 15, 45 e 60 graus. Adicionalmente, os efeitos geométricos e as propriedades ópticas da cobertura ("efeito 1" e "função de fase") provocaram uma alteração do comportamento assintótico da reflectância obtida no nadir em relação ao IAF. O efeito 1, aumentando os valores dos FRBMs, ampliou os limites da curva de reflectância para os AAV de 90 e 180 graus e a função de fase, diminuindo-os para o AAV de  $0^\circ$ , reduziu os limites da assíntota, principalmente para a bandas na região do visível. A redução da assíntota com a diminuição dos FRBMs no AAV de  $0^\circ$ , pode ser entendida como uma subestimação do IAF pela variação da geometria de visada, que compensou a subestimação ocorrida pelas técnicas convencionais, justificada pelo fato do AAV de  $0^\circ$  apresentar os maiores valores médios do coeficiente de correlação (-0,121) entre todos os AAV. Embora não estatisticamente significativa, a tendência de valores positivos dos coeficientes no AZV de  $30^\circ$ , podem ser atribuídas à queda na reflectância ocorrida em relação ao AZV de  $15^\circ$  e ao nadir, para os AAV de 0 e 90 graus, subestimando o IAF e à pequena variação azimutal e zenital ocorrida para este zênite no AAV de  $180^\circ$ .

## 5 - CONCLUSÕES

O comportamento geral observado para as coberturas compostas por *B. brizantha* e *B. decumbens* foi coerente com o observado na literatura para coberturas completas de gramíneas, sendo explicado pela atuação conjunta dos mecanismos físicos "efeito 1" e "função de fase". A coerência observada convalida a metodologia proposta para aquisição dos dados espectrais e a eficiência dos sistemas de controle previstos no planejamento experimental.

Quanto às estratégias adotadas na seleção da geometria de visada, objetivando uma maior representatividade dos dados espectrais, conclui-se que:

- 1- A primeira estratégia adotada, de maximização da variação da resposta espectral da vegetação em função da geometria de visada, foi confirmada pelas maiores variações zenitais dos FRBMs no plano azimutal paralelo ao solar (AAV de 0 e 180 graus).
- 2- A segunda estratégia, de minimização da resposta, também foi confirmada pelas menores variações zenitais observadas no plano perpendicular ao solar (AAV de 90°).

O desvio para o mínimo na reflectância do nadir para os AZVs de 0°, que normalmente ocorre para coberturas de gramíneas completas e erectófilas até o AZV de 30°, para AZS maiores que 55°, como um efeito aditivo da "função de fase" ao "efeito 1", foi acentuado pela presença de inflorescências (componentes opacos) nas camadas superiores da cobertura, ocorrendo valores dos FRBMs inferiores ao nadir até o AZV de 45°, nos AAVs de 0°, para *B. decumbens* e *B. brizantha*, e de 90°, para *B. brizantha*.

As maiores variações zenitais ocorridas entre os AZVs de 30 e 45 graus nos AAV de 180 e 90 graus, para as duas espécies estão associadas a ocorrência dos picos principal (AAV de 180°) e secundário (AAV de 90°) de reflexão próximos a esses AZVs. As maiores variações entre os AZVs de 45 e 60 graus para o AAV de 0° estão relacionadas à maior intensidade do efeito 1 nesse AZV para esse azimute.

A menor variabilidade observada para o AAV de 180° está associada ao domínio do efeito 1, relacionado à EGV, que apresentou uma menor variação no comportamento nesse azimute. A maior variabilidade verificada no AAV de 0° está relacionada à maior variação das propriedades ópticas dos constituintes entre as camadas da cobertura, que ocasionou uma maior atuação da função de fase nesse azimute.

As bandas do visível, principalmente as de absorção, foram as mais influenciadas pela variação da geometria de visada, apresentando uma maior variação azimutal, zenital e em relação ao nadir, enquanto a faixa do IVP (TM4), apresentou as menores variações. Estes

resultados podem estar relacionados à maior intensidade dos mecanismos efeito 1 e, principalmente, da função de fase, no visível em relação ao IVP.

Tanto para *B. brizantha* como para *B. decumbens* não foi verificada a influência do substrato, pelo espalhamento do solo, sendo a distribuição angular dos FRBMs explicados pela interação dos mecanismos físicos com a vegetação. A variação da geometria de visada alterou profundamente as relações normalmente observadas para os FRBMs obtidos no nadir, principalmente nas bandas de absorção no visível, onde verificou-se um comportamento oposto ao do nadir, com o aumento da reflectância com o AZV.

O IVP foi o menos influenciado, devido a menor intensidade dos mecanismos físicos nessa faixa em relação ao visível e à não alteração do comportamento normal da reflectância.

O máximo conteúdo de informação sobre a estrutura geométrica da cobertura está contido no AAV de 180°, que melhor se correlacionou com a maioria dos parâmetros biofísicos, principalmente de produção da fitomassa. As piores correlações do AAV de 0° com todos os parâmetros biofísicos podem estar relacionadas ao comportamento inverso da reflectância (diminuição) com o aumento do AZV. Os maiores coeficientes de correlação ocorridos com a maioria dos parâmetros biofísicos no AZV de 45 estão associados à ocorrência dos picos de reflexão primário (AAV de 180°) e secundário (AAV de 90°) próximos a esse AZV. Os maiores valores médios dos coeficientes verificados para o AZV de 15°, devem-se à menor variação nos valores dos coeficientes em relação aos AZVs maiores e às baixas correlações para as bandas do visível, principalmente as de absorção, para os AZVs maiores, que apresentaram um comportamento oposto aos de AZV menores. A ocorrência de menores valores médios nos AZVs de 0 e 30 graus, relaciona-se à maior variabilidade amostral verificada nesses AZVs, que ocasionou uma maior dispersão dos dados e piores correlações.

Os parâmetros caracterizadores da produção e do teor de água da fitomassa apresentaram as melhores correlações, principalmente por estarem mais relacionados à faixa do IVP, que apresentou as maiores correlações. Os baixos valores dos coeficientes verificados para os parâmetros caracterizadores da disponibilidade de componentes e para o IAF, são justificados pelo comportamento oposto ao normalmente observado para as faixas de absorção do visível com o aumento do AZV. Associado a este fator, a maior variabilidade amostral para os componentes da fitomassa ocasionou uma maior dispersão dos dados. Para o IAF, a variação na relação entre o peso e a área foliar, ocasionou uma subestimação desse parâmetro

para as amostras com maior fitomassa, também prejudicando as correlações.

A análise das correlações entre os FRBMs obtidos com diferentes geometrias de visada e os parâmetros biofísicos possibilita uma seleção da geometria de visada e das faixas espectrais, que permitam a extração de um maior conteúdo de informação a partir dos dados angulares, muito úteis em reduzir o número de observações requeridas para caracterizar a FDRB de superfícies. Isto pode ser essencial para observações por satélite, visto que a partir de plataformas remotas, somente poucos ângulos de visada podem ser utilizados.

O aumento da representatividade amostral observada com o incremento do AZV, confere além de informação adicional sobre os aspectos geométricos da cobertura, uma melhor qualidade da informação quando comparada à obtida no nadir.

O efeito geométrico da cobertura ("efeito 1"), mecanismo que controla as diferentes contribuições relativas das camadas inferiores e superiores da cobertura, foi o mecanismo dominante na configuração da distribuição angular dos dados espectrais, mas teve seus efeitos alterados pelas diferenças estruturais (DAF, IAF e sombras), em composição (densidade de vegetação e disponibilidade dos componentes) e nas propriedades ópticas (folhas jovens nas camadas superiores, folhas desenvolvidas nas camadas inferiores, presença de inflorescências nas camadas superiores), entre as camadas da cobertura. Tais alterações relacionadas à atuação do efeito de "função de fase" conferem a esse efeito uma maior importância relativa na distribuição da reflectância, do que a normalmente considerada na literatura para coberturas homogêneas e completas. Assim, há necessidade de maiores estudos desse efeito, com uma estratificação das características da cobertura e análises de sensibilidade na reflectância e transmitância de seus componentes.

## 6 - REFERÊNCIAS

- Allen, W.A.; Gausman, H.W.; Richardson, A.J.; Thomas, J.P. Interaction of isotropic light with a compact plant leaf. *Journal of Optical Society of America*, 52:1376-1379, 1969.
- Barnsley, M.J. The implication of view angle effects on the use of multispectral data for vegetation studies. In: INTERNATIONAL CONFERENCE HELD IN SILSOE: THE APPLICATION OF REMOTE SENSING TECHNIQUES TO AID RANGE MANAGEMENT, 9. Silsoe, Bedford, U.K., 21-23 Sep., 1983. Proceedings. Remote Sensing Society. University of Reading, England, 1983.
- Barnsley, M.J. Effects of off-nadir view angles on the detected spectral response of vegetation canopies. *International Journal of Remote Sensing*, 5(4):715-728, Jul. Aug., 1984.
- Batista, G.T.; Rudorff, B.T.F.; Oviedo, A.P.F. Resposta espectral da soja e sua relação com parâmetros agrônômicos. IN: ANAIS DO 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal-RN, 11 a 15 de outubro, 1988. p.407-413.
- Bunnik, N.J.J. The multispectral reflectance of shortwave radiation by agricultural crops in relations with their morphological and optical properties. Thesis. medeligen. landbouwhogeschool, Wageningen 78-1. 176 pp. 1978.
- Chandrasekhar, S. Radiative transfer. New York, Dover Publications, 1960.
- Formaggio, A.R. Características agrônômicas e espectrais para sensoriamento remoto de trigo e de feijão. ESALQ/USP, Piracicaba, 1989. 161 p. (Tese de Doutorado).
- Formaggio, A.R.; Epiphânio, J.C.N. Estudos radiométricos das culturas de trigo e de feijão em três tipos de latossolos. IN: ANAIS DO 5º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Natal-RN, 11 a 15 de outubro, 1988. p. 393-399.
- Formaggio, A.R.; Epiphânio, J.C.N. Características espectrais de culturas e rendimento agrícola. INPE, São José dos Campos, 1990, 167p. INPE-5125-RPE/630.
- Gerstl, S.A.W.; Simmer, C. Remote sensing of angular characteristics of canopy reflectances. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-24(5):648-658, Sep., 1986.
- Goell, N.S.; Thompson, R.L. Optimal solar/viewing geometry for an accurate estimation of leaf area index and leaf angle distribution from bidirectional canopy reflectance data. *International Journal of Remote Sensing*, 6(9):1493-1520, Sep., 1985.
- Guyot, G. Angular and spatial variability of spectral data in the visible and near infrared. COLL. INTERNATIONAL SIGNATURES SPECTRALES D'OBJETS EN TÉLÉDÉTECTION, 2. Bordeaux, 12-16 Sep., 1983. Ed INRA Publ., 1984 (Les Colloque de l'INRA, n° 23).
- Kimes, D.S.; Markhan, B.L.; Tucker, C.J.; McMurtrey III, J.E. Temporal relationships between spectral response and agronomic

- variables of a corn canopy. *Remote Sensing of Environment*, 11:401-411. 1981.
- Kimes, D.S. Dynamics of directional reflectance factor distributions for vegetation canopies. *Applied Optics*, 22(9):1364-1372, 1983.
- Kimes, D.S.; Holben, B.N.; Tucker, C.J.; Newcomb, W.W. Optimal directional view angles for remote sensing missions. *International Journal of Remote Sensing*, 5(6):887-903. Nov. Dec., 1984a.
- Kimes, D.S.; Kirchner, J.A. Diurnal variations of vegetation canopy structure. *International Journal of Remote Sensing*, 4(2):257-271, Apr., 1984.
- Kimes, D.S. Modeling the directional reflectance from complete homogeneous vegetation canopies with various leaf-orientation distributions. *Optical Society of America*, 1(7):725-737. 1984.
- Kimes, D.S.; Norman, J.M.; Walthall, C.L. Modeling the radiant transfer of sparse vegetation canopies. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. GE-23 (5):695-704, 1985.
- Kirchner, J.A.; Kimes, D.S.; McMurtrey III, J.E. Variation of directional reflectance factors with structural changes of a developing alfalfa canopy. *Applied Optics*, 21:3766-3774. 1982.
- Knipling, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment* 1 (2): 155-159. 1970a.
- Morelli, A.F. *Influência da geometria de visada na reflectância espectral de duas gramíneas forrageiras*. São José dos Campos, INPE, 1993. (no prelo)
- NASA. From Pattern to Process: The strategy of the Earth Observing System. EOS Science Steering Committee. Report V.II. 1990
- Pereira, M.D.B. *Correlação da fitomassa foliar de campo cerrado com dados espectrais obtidos pelo sistema MSS/LANDSAT e por radiometria de campo*. São José dos Campos, INPE, 1986 (INPE-3758-TDL/205).
- Santos, J.R. *Biomassa aérea da vegetação do Cerrado: estimativa e correlação com dados do sensor "Thematic Mapper" do satélite Landsat*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 1988. Tese de Doutorado em Ciências Florestais.
- Steffen, C.A. *SPECTRON SE - 590 - Manual de Referência*. INPE. DSR. DPA - LARAD. 1988.
- Suits, G.H. The cause of azimuthal variations in directional reflectance of vegetative canopies. *Remote Sensing of Environment*. 2( ):175-182, 1972.
- Valeriano, D.M. *Interações da radiação solar com a vegetação*. São José dos Campos, INPE, 1988. (INPE-4697-MD/038).
- Valeriano, D.M.; Pereira, M.D.B. *Relações entre a biomassa aérea do estrato rasteiro do cerrado e sua reflectância espectral*. São José dos Campos, INPE, 1988 (INPE-4848-PRE/1477).

# Projeto SGIDB - Integração do SGI a Gerenciadores de Bancos de Dados Relacionais

Ademir Fernando Morelli \*  
Rafael Duarte Coelho dos Santos \*  
Vânia Aparecida Ceccato \*  
José Luis de Oliveira \*\*  
Mario José Moreira \*\*\*  
Rogério Benedito Andrade \*\*\*  
Silene de Freitas Fernandes \*\*\*  
Vladimir Moreira da Costa \*\*\*\*  
Suely Izumi Takamatsu Morelli \*\*\*\*\*

## ABSTRACT

*The objective of this research was to integrate the SGI (Geographical Information System developed in the National Institute of Space Research- INPE) in the relational data base system. The methodology involved a development of external programs for the optimization of the map preparing process in the SGI and the integration of SGI to Dbase III Plus data base. The methodology involved the basic studies of programming and operation of the SGI. Some tools were defined to providing this study: graphical interface, programming interface, general reclassifier and SGI specific and editor data. These preliminary tests using SGI integrated to Dbase III Plus data base have demonstrated a great performance of the mapping process and a otimization of the operational process .*

## 1 - INTRODUÇÃO

Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são sistemas automatizados que manipulam informações a partir de base de dados geográficos, para realizar diferentes tipos de análises e obtenção de resultados, que o permitem atuar como sistemas de suporte a decisões nas atividades de planejamento e gerenciamento de recursos.

O SGI (Sistema de Informação Geográfica desenvolvido pelo INPE) atua como um SIG que integra e manipula informações provenientes de diferentes fontes, como mapas, dados censitários, tabelas estatísticas e cadastrais. Atualmente o SGI não está compatível e integrado de forma completa a gerenciadores de bancos de dados relacionais, limitando e onerando a tarefa de entrada de dados.

(\*) Professores da UNIVAP

(\*\*) Pesquisador do INPE

(\*\*\*) Técnicos em Processamento de Dados da UNIVAP

(\*\*\*\*) Tecnólogo em Processamento de Dados da UNIVAP

(\*\*\*\*\*) Aluna da UNIVAP

Além disso, o SGI manipula somente informações no formato raster, o que ocasiona grande demanda de tempo e espaço de armazenamento nos processos de rasterização e manipulação de dados.

A integração do SGI ao DBase III Plus permite a compatibilidade dos dados do SGI com outros SIGs e gerenciadores de bancos de dados, a otimização dos processos de entrada de dados e da capacidade de manipulação e processamento da informação.

## 2 - OBJETIVOS

a- Otimização do uso do SGI através de programas externos para a manipulação de dados vetoriais;

b- Integração do SGI a gerenciadores de bancos de dados relacionais.

Os dois objetivos constituem propostas alternativas de desenvolvimento para atender a diferentes aplicações: A proposta de otimização visa as aplicações em cartografia, onde o objetivo principal é a confecção de mapas de forma sistemática. A proposta de integração está mais voltada para aplicações nas áreas de análise ambiental e planejamento regional e urbano,

que necessitam de uma maior capacidade de manipulação de informações de diferentes fontes, tais como mapas, bancos de dados e programas estatísticos.

A otimização envolve a conversão dos dados no formato SGI (GKS) para o formato Dbase (dbf) e a manipulação em programas externos de edição e reclassificação geral. A integração compreende a confecção de programas internos aos menus do SGI (como uma interface gráfica interativa que acessa o banco de dados) e programas externos independentes (como reclassificadores dedicados, formando sistemas de apoio a decisão para áreas específicas de aplicação, ex. Planejamento municipal). Tais programas dependem de uma reestruturação completa do fluxo de execução normal do SGI e do próprio conceito de utilização do SGI.

### 3 - METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada conjuntamente pelos grupos de Geoprocessamento e de Desenvolvimento e suporte ao usuário do Laboratório de Geociências. A experiência de 5 anos de utilização do SGI pelos dois grupos, resultou nas propostas de otimização e integração que estão sendo implementadas já em fase de "teste de campo".

O desenvolvimento metodológico envolveu as etapas de estudos básicos do SGI, definição das ferramentas de programação, desenvolvimento de programas e testes por usuários.

#### 3.1 - OTIMIZAÇÃO DO USO DO SGI

##### - Estudos básicos do desempenho do SGI

Esta etapa envolveu o estudo do tempo de execução de um mapa básico no SGI, objetivando a avaliação do tempo envolvido em cada etapa do processo de execução

##### - Estudos básicos dos programas fonte SGI

O estudo do formato dos arquivos GKS no SGI foi básico para a programação da INTERFACE CONVERSORA PROGRAMÁVEL e envolveu as seguintes etapas:

- a- a análise da organização e integração dos arquivos GKS, seus formatos de armazenamento e conteúdo de informação;
- b- o estudo das formas de manipulação dos dados no SGI;
- c- a análise do gerenciamento de arquivos e das rotinas dos processos de conversão (vetor <--> raster), de manipulação (cruzamento, ponderação, reclassificação);
- d- a análise dos processos envolvidos na execução de mapas.

##### - Definição das ferramentas de programação

Nesta etapa foram concebidas as ferramentas de programação necessárias à otimização do SGI que estão expostas na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - ferramentas de programação necessárias para a otimização do uso do SGI

FUNÇÕES	FERRAMENTAS DE PROGRAMAÇÃO
Conversão SGI-Dbase	Interface programável
Manipulação	Editor de dados do SGI
	Reclassificador geral

##### - Descrição das ferramentas de programação

###### - Interface conversora programável:

Características:

Programa em linguagem C de conversão dos dados SGI no formato GKS para o formato DBF através do modo programável ou interativo.

Função:

Converter arquivos GKS de projeto, PIs, polígonos, centróides, linhas, textos, legendas e símbolos para o formato DBF, sem perda de informação.

###### - Reclassificador geral

Características:

Permitir a reclassificação temática dos PIs a nível geral e individual a partir da alteração do índice do polígono e do rótulo do polígono, através de regras estabelecidas para manipulação.

###### - Editor de dados do SGI

Características:

Interface interativa objetivando a otimização dos processos de edição dos dados SGI, de modo individual ou geral.

Função:

Editor relacional que consulte e altere simultaneamente vários arquivos de dados do SGI.

#### 3.2 - INTEGRAÇÃO DO SGI A GERENCIADORES DE BANCOS DE DADOS RELACIONAIS

Adicionalmente às etapas necessárias para a otimização, a integração envolveu o estudo da configuração do Sistema de interação SGI/Dbase.

- Definição das ferramentas de programação necessárias para a integração

Além das ferramentas concebidas para a otimização, foram concebidas ferramentas específicas para a integração, demonstradas na tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Ferramentas de programação necessárias para a integração

ATIVIDADES	FERRAMENTAS DE PROGRAMAÇÃO
Integração	Interface conversora programavel SGI/DB
	Interface gráfica interativa SGID/BASE
	Reclassificadores dedicados
	Interface gráfica interativa SGI/DBASE

**- Descrição das ferramentas de programação**

**- Interface gráfica interativa**

Características:

Permitir o acesso aos arquivos DBF a partir da seleção de objetos na tela com o cursor ou teclado.

Funções

- a - Para cada entidade gráfica do SGI (texto, polígono, linhas, PI, legenda, textos, símbolos) existe um registro em um banco de dados no formato DBF criado pela interface conversora programável;
- b - Cada entidade gráfica é classificada pelo índice do polígono e por seu rótulo;
- c - Com a seleção do objeto na tela, há criação dos arquivos DBF a partir dos dados correlacionados com os DBF criados pela interface conversora l.

**- Reclassificadores dedicados**

Características:

Reclassificação dos PIs no modo interativo através de interface gráfica amigável ao usuário. Aplicação em áreas específicas, compondo sistemas dedicados (ex: SIM (Sistema de Informação Municipal)).

**- Estudo da configuração do sistema de interação SGIDB**

A análise do sistema de interação SGIDB resultou na configuração e no fluxo de operação descrito na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Sistema de Interação SGIDB

Entrada dados gks	Entrada de dados gks e dbf	entrada de dados dbf < = =	Programas externos para manipulação
SGI	====> interface programável conversora de arquivo <====	DBASE	Pacotes estatísticos
			Programas para modelagem
			Reclassificador geral
			Reclassificador específico
	<==== Interface interativa ====>		
saída de dados gks e dbf		saída de dados dbf = =>	Editor dados SGI

Após a fase de análise do sistema, passou-se à fase de desenvolvimento e teste dos programas, cujos resultados preliminares estão expostos para a proposta de otimização do SGI. A proposta de integração está na fase inicial de testes de campo e estão sendo desenvolvidos dois projetos pilotos, um voltado para a análise do sistema de áreas verdes urbano de Lencóis Paulista e outro para a avaliação da qualidade de vida urbana de Rio Claro. Os dois projetos pilotos envolvem a integração do SGI com bases de dados pré-existent nas prefeituras desses municípios e intensa manipulação de informação provenientes de mapas, imagens orbitais, fotografias aéreas e dados de campo.

A situação atual do projeto e as fases já desenvolvidas estão demonstradas na tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Situação atual do Projeto SGIDB

Atividades	Estudos básicos	Desenvolv. programas	Teste dos programas	Teste por usuários
Interface Prog				
Reclas. Ded.				
Editor SGI				
Interface Int.				
Reclas. geral				

## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 - OTIMIZAÇÃO DO SGI

#### - Estudos Básicos do desempenho do SGI

Tabela 4.1 - Tempo de execução de um mapa no SGI

Atividades	Tempo de execução de um mapa no SGI				
	2hs	4hs	6hs	8hs	10hs
Entrada					
Processamento					
Saída					
Legendas	Etapas de cada atividade				
	Digitalização				
	Inserção de centróides e poligonalização				
	Rasterização				
	Manipulação de dados no formato raster				
	Geração de cartas e plotagem				

Como observado na tabela acima, o processo de entrada manual de dados no SGI, através da digitalização e inserção de centróides, consome o maior tempo em todo o processo de execução de um mapa. O processamento automático dos dados nos processos de poligonalização, rasterização e manipulação foi o segundo maior em tempo de execução.

A otimização do processo de digitalização manual de ilhas, arcos e polígonos abertos, depende de uma reestruturação profunda da interface de interação SGI/usuário e assim mesmo continuaria sendo o processo mais lento da execução de um mapa. A digitalização manual pode ser substituída pela automática, com o processo de varredura de mapas através de "scanners" e posterior processamento da imagem gerada, mas também depende de alterações profundas no processo de execução de mapas, aquisição de equipamentos de alto custo ("scanners" e computadores com maior capacidade de processamento e armazenamento de informações) e treinamento de pessoal em processamento digital de imagens, investimento necessário a médio e longo prazo, mas inviável a curto prazo.

Neste âmbito, o processamento automático na rasterização e manipulação de dados no formato raster, pode ser mais facilmente substituído pela conversão dos dados no formato vetorial (formato original de digitalização "espaguete data") para o formato DBF (DBase File) e manipulação dos dados no DBase III Plus ou em programas aplicativos na linguagem Clipper versão 5, compatíveis com o formato DBF.

O formato DBF é aceito como padrão mundial em bancos de dados e compatível com um grande número de linguagens e aplicativos.

Assim, como exposto na tabela 4.2, o tempo medido na execução do mesmo mapa no SGIDB foi 4 horas menor nas atividades de entrada e processamento dos dados no formato DBF e não no formato raster. Outra vantagem além da redução do tempo foi a redução do espaço de armazenamento, reduzindo os custos de operação do SGI. Adicionalmente, há uma maior capacidade de manipulação no RECLASSIFICADOR GERAL, como um maior número de PIs e regras de manipulação mais fáceis e versáteis, que resultaram numa maior interação com o usuário em um melhor controle dos resultados, que puderam ser verificados no EDITOR DO SGIDB, antes de convertê-los para o SGI.

Tabela 4.2 - Tempo de execução de um mapa no SGIDB

Atividades	Tempo previsto para a execução de um mapa no SGIDB				
	2hs	4hs	6hs	8hs	10hs
Entrada					
Processamento					
Saída					
Legendas	Etapas de cada atividade				
	Digitalização				
	Inserção de centróides e poligonalização				
	Rasterização				
	Manipulação de dados no formato raster				
	Geração de cartas e plotagem				

#### Fluxo de execução de um mapa no SGIDB

O fluxo de execução para o SGIDB compreendeu o processo normal de entrada de áreas, com a digitalização, ajuste manual de linhas e poligonalização no SGI. Após a poligonalização foi realizada a conversão dos arquivos de polígonos e tabelas dos PIs de interesse do formato GKS (SGI) para o formato DBF (DBASE), pela INTERFACE CONVERSORA. O processo de conversão não envolveu perda de informação e os dados puderam ser manipulados no RECLASSIFICADOR GERAL e no EDITOR DO SGIDB.

No EDITOR DO SGIDB, os dados já reclassificados foram checados para cada PI, e os índices e rótulos dos polígonos foram conferidos, obtendo-se um controle da precisão de reclassificação bastante superior quando comparados ao simples controle visual na operação normal do SGI.

## 4.2 - INTEGRAÇÃO DO SGI

### Resultados Preliminares

**Sistema de informações geográficas integrado a banco de dados (SGIDB) aplicado à análise do sistema urbano de áreas livres de Lençóis paulista**

#### Objetivos:

- 1 - Caracterização da estrutura e função urbana;
- 2 - Análise do sistema urbano de áreas verdes;
- 3 - Proposição para planejamento do sistema urbano de áreas verdes;

#### Metodologia:

O desenvolvimento metodológico envolveu a entrada de informações sobre a estrutura e a função urbana, provenientes de mapas, no SGI e a integração dessas informações georeferenciadas a uma base de dados sobre o sistema de áreas livres. A base de dados engloba os dados censitários coletados de toda a área urbana, para cada quadra, e dados estatísticos sobre a tipificação da arborização de vias públicas, resultantes da aplicação da Análise Fatorial de Correspondência aos dados censitários sobre a arborização.

#### Mapas da estrutura e função urbana no SGI

##### a - PIs Base

- a.1 - PI ESTC - Estradas e Cidades
- a.2 - PI HIDR - Hidrografia
- a.3 - PI DIVM - Divisão municipal
- a.4 - PI MAUR - Malha Urbana
- a.5 - PI PEUR - Perímetro urbano

##### b - PIs Estrutura Urbana

- b.1 - PI USOS - Uso do solo generalizado
- b.2 - PI LARC - Largura de ruas e calçadas
- b.3 - PI DEOC - Densidade de ocupação dos lotes
- b.4 - PI RUCO - Recuo uniforme das construções
- b.5 - REVP - Rede viária principal
- b.6 - PI RELT - Rede de distribuição elétrica e telefônica

##### b.7 - PI EXPU - Expansão Urbana

##### c - PIs Função Urbana

- c.1 - PI DEHE - Densidade habitacional
- c.2 - PI CLRE - Classes de renda

##### d. PIs - Sistema de áreas livres de Lençóis Paulista

- d.1 - PI ARIM - áreas livres implantadas
- d.2 - PI ARDE - áreas livres disponíveis com destinação especificada
- d.3 - PI ARDS - áreas livres disponíveis sem destinação especificada

#### Dados censitários

Os dados censitários envolvem 121 variáveis quantitativas e qualitativas descritoras das características da arborização urbana. As qualitativas englobam as descritoras da estrutura da vegetação (árvores, arbustos, ervas), do estado fitossanitário e dos conflitos funcionais e estruturais da vegetação com a cidade. As quantitativas envolvem o número de árvores por quadra, a área ocupada por vegetação na quadra e os índices internacionais utilizados no dimensionamento de áreas livres urbanas.

#### Tipificação da arborização de vias públicas urbana

Sobre os dados censitários foi aplicada a Análise Fatorial de Correspondência (AFC) que agrupou as variáveis em grupos segundo o critério de similaridade, resultando em "áreas" com mesmos padrões estruturais e funcionais. A tipificação permitiu a proposição de medidas disciplinadoras e de planejamento específicas para cada área de acordo com seus padrões de uso.

#### Integração das informações no SGIDB

Para a integração dos dados foi desenvolvido um RECLASSIFICADOR DEDICADO específico para o planejamento de áreas livres, em linguagem Clipper 5.0. O objetivo foi o de permitir a integração e manipulação dos dados a usuários que não possuam o SGI (prefeitura). Deste modo, a partir de um único PI (Malha Urbana) pôde-se gerar vários PIs resultantes de reclassificações baseadas nas informações contidas na base de dados e resultantes do cruzamento destas (AFC).

O usuário (prefeitura) pode a partir de um micropontuador tipo IBM-PC reclassificar o mapa Malha Urbana, formando diferentes mapas temáticos sobre uma mesma base cartográfica, e visualizá-lo no formato VGA e ainda gerar relatórios a partir de regras pré-estabelecidas pelo usuário. Desta forma o usuário só necessitará do SGI para a atualização do mapa base, podendo requisitar os serviços de terceiros.

As etapas de integração das informações foram as seguintes:

- 1- Análise do sistema de áreas verdes urbano
  - 1.1- Geração dos mapas síntese "Estrutura", "Função" e "Sistema de áreas verdes".
    - a - Geração do mapa síntese "Estrutura Urbana"
    - b - Geração do mapa síntese "Função Urbana"
    - c - Geração do mapa síntese "Sistema de áreas Verdes"

2 - Cálculo da área das classes do mapa síntese "sistema de áreas livres"

3- Correlação da informação dos mapas síntese "Estrutura", "Função" e "Sistema de áreas verdes" através da aplicação do programa SAS (Statistical System Analysis);

4 - Ponderação dos mapas síntese "Estrutura", "Função" e "Estrutura" no RECLASSIFICADOR DEDICADO, através de regras de cruzamento com ponderação;

5 - Análise da adequabilidade estrutural e funcional dos espaços livres através da integração de diversos mapas descritores da arborização, estrutura e função urbana no RECLASSIFICADOR DEDICADO;

6- Proposição para planejamento do sistema de áreas verdes urbano com a elaboração do mapa Prognóstico para o sistema de áreas verdes a serem implantados em Lençóis Paulista.

**Avaliação da qualidade de vida urbana a partir de dados convencionais e de sensoriamento remoto, integrados no SIGDB**

Os dados preliminares desta pesquisa estão publicados nos anais deste simpósio, com o mesmo título.

## 5 - CONCLUSÕES

Os testes preliminares de avaliação do projeto SGIDB apontaram uma melhora no desempenho do sistema quanto a otimização do processo de produção de mapas, com uma redução significativa do tempo de execução, espaço de armazenamento e um melhor controle da qualidade do mapeamento.

O processo de integração do SGI a bancos de dados, embora ainda em fase inicial, tem demonstrado resultados promissores, principalmente quanto ao novo conceito de gerenciamento da informação georeferenciada desenvolvido, que permite a configuração de sistemas especialistas com baixo custo de implantação.

Os testes de campo através do desenvolvimento de projetos pilotos tem demonstrado uma evolução no conceito de utilização do SGI, mais atual com as novas tendências em geoprocessamento.

O conceito SGIDB exige e permite um planejamento preliminar do fluxo de operações e uma estruturação do banco de dados, visando um melhor gerenciamento dos projetos e controle das operações entre as diferentes fontes de informação (base de dados, mapas, programas estatísticos e de modelagem), que objetiva uma economia de meios e melhor controle da qualidade.



PRACA CÂNDIDO DIAS CASTELON, 116 - Cx. Postal 82  
TEL.: (0123) 22-2355 - FAX: (0123) 41-7248  
CEP 12245-720 - SÃO JOSÉ DOS CAMPOS-SP