UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA

CARACTERIZAÇÃO DE ALVOS COM IMAGENS DO SENSOR MULTIESPECTRAL AEROTRANSPORTADO EPS-A 31T APOIADO POR DADOS DE ESPECTRORADIOMETRIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Adenilson Farias Zanini

Santa Maria, RS, Brasil

2008

CARACTERIZAÇÃO DE ALVOS COM IMAGENS DO SENSOR MULTIESPECTRAL AEROTRANSPORTADO EPS-A 31T APOIADOS POR DADOS DE ESPECTRORADIOMETRIA

por

Adenilson Farias Zanini

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática.

Orientador: Prof. Dr. Elódio Sebem

Santa Maria, RS, Brasil

2008

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Geomática

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

CARACTERIZAÇÃO DE ALVOS COM IMAGENS DO SENSOR MULTIESPECTRAL AEROTRANSPORTADO EPS-A 31T APOIADO POR DADOS DE ESPECTRORADIOMETRIA

elaborada por
Adenilson Farias Zanini

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Geomática

COMISSÃO EXAMINADORA:

ELÓDIO SEBEM, Dr.
(Presidente/Orientador)

RUDINEY SOARES PEREIRA, Dr. (UFSM)
(Co-orientador)

RAFAEL GARCÍA RODRÍGUEZ, Dr. (UPM - Espanha)

Santa Maria, 01 de dezembro de 2008.

Fabiane, Lauren e Érica

Minha ausência, compreenderam;
Meus esforço, alicerçaram;
Minhas angustias, neutralizaram...
E pude alçar vôos
para realizar sonhos.
Muito Obrigado!

AGRADECIMENTOS

Ao consolidar este trabalho, torna-se difícil reunir palavras para agradecer a todos que contribuíram para meu êxito neste ciclo de pesquisas. A cada dificuldade, um maior número de amigos surgia para auxiliar a superá-la. Meu sincero “muito obrigado” e o agradecimento a Deus pela vida e saúde de todos e por colocá-los em meu caminho. Agradeço ainda:

A minha esposa e minhas filhas, pelo amor, incentivo e confiança. A elas dedico este trabalho.

Aos meus familiares por compreenderem minha ausência e transmitirem os bons preceitos que me guiaram nesta jornada.

Ao professor Dr. Elódio Sebem, meu orientador, pela oportunidade, confiança e incansável apoio na execução do trabalho.

Ao professor Dr. Rudiney S. Pereira, por disponibilizar os meios a seu alcance para a execução da pesquisa e pelos longos anos compartilhando sua experiência.

Ao professor Dr. Ivanor Müller, pela compreensão e transmissão de conhecimentos, premiando-me com uma excelente aula de estatística.

Ao professor Dr. Rafael García Rodríguez (Madrid) que, além de emprestar seu conhecimento à pesquisa, estendeu sua permanência no Brasil, valorizando muito meu trabalho.

Aos companheiros de “campo”, Pedro Carlos, Solano, Leonardo e Elias, pela dedicação de tempo a esta pesquisa, aceitando em troca apenas um “obrigado”.

Aos amigos e colegas Paulo Gilvane, Odilon, João Quoos e João M. Aguirre, por cederem material e pelos bate-papos que possibilitaram a troca de conhecimentos.

Ao Centro de Ciências Rurais e ao Colégio Politécnico, pelo trabalho conjunto na criação, manutenção e difusão deste Curso ímpar em qualidade e objetividade.

Aos companheiros do 1º Esquadrão do 10º Grupo de Aviação que compreenderam minha ausência nestes 18 meses, valorizando minha conquista.

Ao 2º Esquadrão do 6º Grupo de Aviação, pelo apoio nos vôos e a seus integrantes que abdicaram do conforto do lar em prol da pesquisa e do conhecimento.

A Universidade Federal de Santa Maria e a Força Aérea Brasileira, pela solidificação do convênio e da parceria, possibilitando o intercâmbio e o fortalecimento da atividade de sensoriamento remoto.

“O saber a gente aprende com os mestres e com os livros.
A sabedoria se aprende com a vida e com os humildes.”

Ana Lins dos Guimarães Peixoto Bretãs
(Cora Coralina, 1889 – 1985)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

CARACTERIZAÇÃO DE ALVOS COM IMAGENS DO SENSOR MULTIESPECTRAL AEROTRANSPORTADO EPS-A 31T APOIADO POR DADOS DE ESPECTRORADIOMETRIA.

AUTOR: ADENILSON FARIAS ZANINI
ORIENTADOR: DR. ELÓDIO SEBEM
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 01 de dezembro de 2008.

A necessidade de identificar objetos no solo constituídos por diversificados tipos de materiais tornou-se um desafio aos pesquisadores na atividade de sensoriamento remoto. Esta situação alavancou novas pesquisas na área de desenvolvimento de sensores e estimulou o aprimoramento e criação de novas técnicas e ferramentas que auxiliem na caracterização dos alvos. Acompanhando esta necessidade foi desenvolvida esta pesquisa, com o objetivo de caracterizar alvos urbanos em imagens multiespectrais, por meio de estatística multivariada, apoiado em espectroradiometria de solo. Foi utilizado o Sensor MSS EPS-A 31T, o espectroradiômetro FieldSpec Pro FR e os softwares R 2.7© e ERDAS 8.7®. Foi realizado o sensoriamento em uma faixa contínua sobre a Universidade Federal de Santa Maria-RS em três horários distintos, as 12:00HBV (MSS1) e 16:00HBV (MSS2) do dia 17/12/2007 e as 09:00HBV (MSS3) do dia 27/12/2007. O sensor MSS foi operado na aeronave R-99B, no modo 31 canais no intervalo espectral entre 0,42µm a 12,5µm, com uma resolução espacial de 2,5m. Paralelo ao vôo foi efetuado a leitura da radiação refletida pelos alvos no solo com o espectroradiômetro que opera na faixa de 0,35µm a 2,5µm. Uma metodologia que se alia a fotointerpretação é a da estatística analítica, pois com a evolução tecnológica passou-se a associar fotografias aéreas pancromáticas e imagens multiespectrais. Os dados gerados na pesquisa foram transferidos e convertidos em matrizes de dados. Os valores digitais de MSS3 foram descartados do trabalho por incompatibilidade no tratamento. Inicialmente foi executada a análise de componentes principais identificando-se as três principais componentes (canais 7, 3 e 30 do sensor MSS), respondendo estas por 99,947% e 99,948% da variabilidade das variáveis originais para MSS1 e MSS2, respectivamente. A partir desta gerou-se uma imagem de alto contraste entre os materiais constituintes dos alvos propostos. Os intervalos de comprimento de onda da análise de componentes principais foram retomados para a estruturação de matrizes que permitissem uma análise de regressão. As principais componentes foram, então, relacionadas com as leituras efetuadas na espectroradiometria de solo, em seus referidos intervalos espectrais. Os coeficientes de regressão encontrados responderam respectivamente por 76,99% da variação da variável dependente em MSS1 e por 85,40% em MSS2. Estes percentuais traduziram-se em um melhor ajuste na segunda regressão e uma menor variabilidade dos erros residuais. A média dos erros residuais para MSS1 foi -0,2869, enquanto que em MSS2 foi -0,0851. A verificação da validade do modelo foi efetuada com a aplicação da análise de variância (ANOVA) que retratou no teste F os valores: MSS1= 66,91 e MSS2= 116,99. Como o valor do F_{tab} ($F_{5\%;3;60}$) é igual a 2,76, percebe-se que o valor de F_{calc} é maior que o valor do F_{tab} , ($F_{calc} > F_{tab}$) para as duas análises. Pelos resultados alcançados conclui-se que a metodologia empregada é valida para a caracterização dos alvos propostos e o modelo contribui para a distinção entre estes na análise de imagens MSS.

Palavras-chave: espectroradiometria; sensoriamento remoto; análise estatística; reflectância; imagem multiespectral; sensores; fotointerpretação.

ABSTRACT

Dissertation of Master's Degree
Programa de Pós-Graduação em Geomática
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

CHARACTERIZATION OF OBJECTIVES WITH IMAGES OF MULTISPECTRAL AIRBORNE SENSOR EPS-A 31T SUPPORTED BY SPECTRORADIOMETRY DATA.

AUTHOR: ADENILSON FARIAS ZANINI
ADVISOR: DR. ELÓDIO SEBEM
Date and Place of defense: Santa Maria, December 01st, 2008.

The necessity to identify objects in the ground constituted by several types of materials became a challenge to the remote sensing researchers. This situation promoted new researches about sensors development and stimulated the improvement and the creation of new techniques and tools that assist in characterization of the targets. Following this necessity this research was developed with the objective of characterize urban targets in multispectral images, by means multivariated statistical analysis and supported by ground spectroradiometry. It was used the sensor MSS EPS A 31T, the spectroradiometer FieldSpec Pro FR and the softwares R 2.7 and ERDAS 8.7. It was realized a sensing in a continuous strip over the Federal University of Santa Maria – RS in three distinct schedules, at 12:00 pm HBV and 04:00 pm HBV in 17/12/2008 and at 09:00 am HBV in 27/12/2007. The MSS sensor was operated from the R-99B, a FAB aircraft, on 31 channels mode, in the spectral interval of 0,42µm and 12,5µm and space resolution of 2,5m. parallel to the flight it was realized the reading of the radiation reflected by the targets on ground using the spectroradiometer, which operate in the continuous interval from 0,35 µm to 2,5 µm. A methodology allied with the photo interpretation is the analytic statistic, therefore with the technological evolution it became to associate the panchromatic aerial photographic with multispectrals images. The data obtained in the research were recorded and treated in their respective interfaces and converted to mains. The MSS 3 digital values were rejected from the research because of treatment incompatibility. Initially it was made the analysis of the main components, identifying the three main components (MSS sensor channels 7, 3 and 30), answering them for 99,947% and 99,948% of the originals variables variability to MSS 1 and MSS 2 respectively. From that was generated a high contrast image among the constituent materials of the proposed targets. The wavelength intervals of the three main components were retaken to mains structuring to the execution of the regression analysis. The main components were linked with the ground spectroradiometry realized readings, in their respective spectral intervals. The regression coefficients found had answered respectively for 76,99% of the MSS1 depended variables variability and 85,40% of the MSS 2. These percentages had expressed a better adjust in the second regression and in a smaller variability of the residual errors. The residual error's median to MSS 1 was - 0,2869 and to MSS 2 was – 0,0851. The model validity verification was executed with the application of the variance analysis (ANOVA) that showed in F test the values: MSS 1= 66,91 e MSS 2 = 116,99. As the values of F_{tab} ($F_{5\%;3;60}$) is equal 2,76, it is noticed that the values of F_{calc} is bigger than F_{tab} , ($F_{calc} > F_{tab}$), to both analysis. Through the obtained results it is concluded that the employed methodology is valid to characterize the proposed targets and the model contribute to distinguish among them in the MSS image analysis.

Keywords: spectroradiometry; remote sensing; statistical analysis; reflectance; multispectral images; sensors; photo interpretation.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Espectro Eletromagnético 25

FIGURA 02 - Intervalos de Radiação Refletida e Emitida 26

FIGURA 03 - Faixas de Absorção Atmosférica e Intervalos de Transparência para os Sensores 29

FIGURA 04 - Sistema Sensor Multiespectral EPS-A 31T 34

FIGURA 05 - Espectroradiômetro FieldSpec Pro FR 38

FIGURA 06 - Localização da área de estudo e disposição dos alvos 53

FIGURA 07 - Imagens de alvos amostrados 55

FIGURA 08 - Coleta de dados com o espectroradiômetro FieldSpec Pro FR 58

FIGURA 09 - Aeronave R-99B: localização do MSS e console interno 59

FIGURA 10 - Comportamento espectral dos alvos nas imagens do MSS1 71

FIGURA 11 - Comportamento espectral dos alvos nas imagens do MSS2 71

FIGURA 12 – Extrato da composição R7-G3-B30 resultante da PCA do MSS1 . 73

FIGURA 13 - Resíduos de Regressão - MSS1 77

FIGURA 14 – Resíduos de Regressão - MSS2 77

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Intervalos espectrais no modo de 31 canais do MSS EPS-A 31T. 35

TABELA 02 - Equações da Análise de Variância (ANOVA) 50

TABELA 03 - Modelo de Tabela para ANOVA 68

TABELA 04 - Análise de Variância – MSS1 79

TABELA 05 - Análise de Variância – MSS2 79

LISTA DE QUADROS

QUADRO 01 - Caracterização dos alvos propostos na pesquisa 54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ACP (PCA) – Análise de Componentes Principais

AGI – American Geological Institute

ANOVA – Analisys of Variance (Análise de Variância)

ASPSR – American Society of Photogrammetry and Remote Sensing

CBERS – China Brazil Earth Resources Satellite

ENVI – Environment for Visualizing Images – Software

ERDAS – Earth Resources Data Analisys System (Erdas Imagine) – Software

FAB – Força Aérea Brasileira

FOV – Field of View (Campo de Visada)

GER – Geophisical & Environmental Research

HBV – Horário Brasileiro de Verão

HSS – Hiperespectral Scanner System (Sistema de Varredura Hiperespectral)

IEAv – Instituto de Estudos Avançados

MSS – Mutispectral Scanner System (Sistema de Varredura Multiespectral)

MVC – Matriz Variância-Covariância

RADAR - Radio Detection And Ranging (Detecção e Telemetria por ondas de Rádio)

REM – Radiação Eletromagnética

SR – Sensoriamento Remoto

LISTA DE SÍMBOLOS

λ - comprimento de onda

f - frequência

nm - nanometros (10^{-9} m)

µm - micrometros (10^{-6} m)

K - graus de liberdade

n - número de variáveis independentes

Q_e - soma dos quadrados dos grupos

Q_r - soma dos quadrados dos resíduos

Q_t - soma dos quadrados totais

R^2 - coeficiente de determinação

F - distribuição de Snedecor

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A– Matrizes de dados das imagens MSS 89

APÊNDICE B – Análise das componentes principais 90

APÊNDICE C – Matrizes de regressão 91

APÊNDICE D – Estatística da regressão 93

APÊNDICE E – Imagens MSS canais 7(Red), 3(Green), 30(Blue) 94

APÊNDICE F– Erros ou resíduos da análise de regressão 96

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19
2.1 Sensoriamento Remoto 19
2.2 Sensores Imageadores e Não-Imageadores 27
2.3 Sensor Aerotransportado MSS EPS-A 31T 32
2.4 Sensor Espectroradiômetro FieldSpec Pro Fr 36
2.5 Caracterização e Reflectância dos Alvos Urbanos 39
2.6 Análise Estatística e Interpretação de Imagens 41
3 MATERIAIS E MÉTODOS 52
3.1 Caracterização da área de estudos 52
3.2 Material 56
3.2.1 Aquisição dos Dados 56
3.2.1.1 Material de solo 57
3.2.1.2 Material embarcado 58
3.3 Metodologia 60
3.3.1 Processamento e utilização dos dados 60
3.3.1.1 Dados do MSS 61
3.3.1.2 Dados do Espectroradiometro 62
3.3.2 Estatística dos dados 63
3.3.2.1 Análise de Componentes Principais 64
3.3.2.2 Regressão Linear 66
3.3.2.3 Análise de Variância (ANOVA) 67
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 69
5 CONCLUSÕES 80
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 82
APÊNDICES 88

1 INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto tornou-se, nas últimas três décadas, uma ferramenta eficaz para a realização de avaliações no âmbito de planejamentos estratégicos e táticos, tanto em uma localidade, região ou em um país. É uma ferramenta que disponibiliza aos usuários técnicas diversificadas de interpretação e obtenção de informações acerca de um objeto, área ou fenômeno. Pode ser empregado tanto no meio civil quanto no militar. No segmento civil é freqüentemente usado no estudo das potencialidades econômicas, sociais ou em áreas de interesse de uma nação, auxiliando na projeção do desenvolvimento e na expansão dos meios de produção e principalmente no trabalho de proteção ambiental. No segmento militar é fundamental na geração de informações que determinam a conquista e manutenção da soberania de um país, proporcionando segurança e eficiência na contraposição de atividades hostis, em períodos de conflito ou em tempos de paz.

A técnica de sensoriamento remoto vale-se de sensores que recebem e respondem a estímulos e sinais elétricos e magnéticos. Estes dispositivos são desenvolvidos com sensibilidade em um amplo intervalo do espectro eletromagnético, estendendo-se desde o comprimento de ondas ultravioleta (0,35µm) até as microondas (1m). Para cada intervalo do espectro eletromagnético existe um sensor adequado que capta e grava a energia radiante.

Dentre os sensores, alguns atuam em faixas onde os sinais eletroeletrônicos podem ser convertidos em imagens possibilitando à visualização do cenário e facilitando sua interpretação. Encontram-se aí os denominados sensores imageadores. Estes dispositivos são construídos com sensibilidade à radiação eletromagnética de comprimento de onda entre 0,35µm a 15 µm, os denominados sensores ópticos. Eles se caracterizam pelo emprego de componentes ópticos em sua

construção, tais como prismas, lentes e espelhos. Os sensores construídos neste intervalo são classificados distintamente pela forma como ocorre a interação entre a radiação incidente e a superfície ou objeto que sofre a incidência. As radiações podem ser refletidas imediatamente pelos objetos ou absorvidas e posteriormente emitidas por estes.

Outros sensores imageadores são construídos em intervalos de comprimento de onda entre 1mm e 1m, estes atuam na faixa das microondas. Distinguem-se dos anteriores por não utilizarem sistema óptico e sim antenas na emissão do sinal eletromagnético. Esta mesma antena recebe o sinal, formando a imagem por meio do cálculo da defasagem de retorno deste. São os denominados sensores RADAR.

No intervalo óptico uma das técnicas modernas de registro e interpretação das radiações é realizada com a utilização de sensores capazes de seccionar as faixas espectrais em pequenos intervalos, registrando-os em um grande número de canais. Esta técnica emprega um conjunto sensor denominado Sistema de Varredura Multiespectral (MSS). Os sensores MSS podem ser encontrados em plataformas orbitais, suborbitais ou em equipamentos de solo. A diferença entre estes ocorrerá na forma de apresentação dos dados, na capacidade de armazenamento, na área de abrangência, nas resoluções espacial, espectral e temporal e, sobretudo, na atenuação da radiação por fatores atmosféricos devido ao distanciamento entre fonte, alvo e sensor.

A partir destes fatores, desenvolveu-se a pesquisa com o objetivo geral de:

- caracterizar alvos na superfície do solo com imagens do sensor aeroembarcado MSS EPS-A 31T, apoiado por espectroradiometria e interpretação dos dados por meio de análise estatística.

De modo específico os objetivos deste trabalho são:

- encontrar, por meio da análise estatística de componentes principais, a combinação de bandas do sensor MSS que melhor auxilie na distinção visual e estatística dos alvos propostos;

- gerar modelos estatísticos, por meio de regressão linear, para cada sensoriamento, relacionando os dados do MSS com valores de leitura da reflectância obtidos por espectroradiometria de solo, e;

- verificar a validade dos modelos de regressão gerados por meio da análise de variância (ANOVA).

Para alcançar estes objetivos utilizou-se um sensor multiespectral aeroembarcado e um sensor não imageador em solo com varredura hiperespectral. O sensor embarcado em aeronave apresenta uma boa resolução espacial e também a possibilidade de maior número de revisitas ao alvo. Já o sensor de solo possui excelente resolução espectral e geralmente é empregado em associação com os instrumentos embarcados ou orbitais para complementação dos dados e calibração das informações.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sensoriamento Remoto

O sucesso resultante da correta utilização de tecnologia, de acordo com Meneses; Madeira Netto (2001), estimularam o crescimento de pesquisas na área de sensoriamento remoto, tendo suas aplicações multiplicadas a cada ano. Segundo os autores, a evolução de equipamentos e aplicativos acrescidos de elementos adicionais de informações é disponibilizada anualmente à comunidade de usuários e utilizados intensamente pelos pesquisadores. Descrevem os autores:

> Alguém disse: “suba ao espaço para ver a Terra.” E os sensores a bordo dos satélites de sensoriamento tornaram-se extensões dos olhos humanos para ver o planeta. Esses olhos conseguiram superar o poder da visão do homem, estendendo sua capacidade de identificar os objetos terrestres muito além dos comprimentos de onda da luz normalmente percebidos. (MENESES; MADEIRA NETTO, 2001, prefácio)

O sensoriamento remoto é uma atividade multidisciplinar e dinâmica com acelerada expansão no mundo e, como tal, tem seu conceito generalizado por alguns grupos de pesquisadores, contrastando com outros autores que o consideram tão somente fruto do desenvolvimento tecnológico de sensores orbitais e suborbitais. Assim, a definição do termo “sensoriamento remoto” é apresentada de diferentes maneiras pelos pesquisadores. A conceituação, conforme Novo (1992), diverge entre os cientistas e, na maioria das vezes, são adequadas às áreas de trabalho em que o pesquisador desenvolve seu trabalho.

Uma definição clássica aceita e difundida por muitos autores brasileiros é a citada por Slater (1980) afirmando que o sensoriamento remoto é um conjunto de atividades de coleta de informações relativas à superfície terrestre utilizando sensores instalados a bordo de plataformas em altitude. No entanto, Avery; Berlin (1992, p.2), afirmam que: “o sensoriamento remoto é uma técnica para obter informações sobre objetos através de dados coletados por instrumentos que não estejam em contato físico com os objetos investigados.” Com isso, os autores não limitam o conceito ao uso de plataformas, estendendo a definição a sensores colocados diretamente no solo.

De maneira ainda mais generalizada, Lopes (2006), define que sensoriar remotamente é perceber à distância, olhar ou ouvir sem, contudo, tocar. Uma definição muito ampla e contestada por Novo (1992). Segundo a autora, a aceitação desta conceituação nos levaria a considerar o telescópio como um instrumento sensor e seria legado a Galileu as origens do sensoriamento remoto. A pesquisadora defende conceituações mais específicas e norteadas pelo objetivo fim, qual seja, equipamentos sensores com finalidade de estudar o ambiente terrestre. Cita a autora:

> Novamente torna-se necessário especificar melhor a definição de Sensoriamento Remoto no que diz respeito ao tipo de energia utilizada na transferência de informação do objeto ao sensor. Este é um assunto controvertido. Alguns autores incluem como parte integrante do Sensoriamento Remoto os sensores que operam com energia acústica (sonares, sismógrafos, sismômetros, etc), com energia gravitacional (gravímetros) ou com energia eletromagnética (radiômetros). Outros restringem a utilização do termo sensores remotos aos equipamentos que operam apenas através da detecção da energia eletromagnética ou radiação eletromagnética (NOVO, 1992, p.2).

Porém outros pesquisadores endossam a definição apresentada por Lopes (2006) ao afirmar que sensoriamento remoto é uma atividade que transcende o limite do desenvolvimento tecnológico de sensores. Lillesand; Kiefer (1994) definem sensoriamento remoto como a ciência e a arte de obter informações acerca de um objeto, área ou fenômeno, através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno. Estes autores

argumentam que, dentre as visões de vários pesquisadores, o importante é salientar que independentemente da linha de pesquisa deve-se, além de conhecer o conceito atribuído à atividade de sensoriamento remoto, saber que sua origem está alicerçada na característica intrínseca ao ser humano de ver, ouvir e perceber à distância e a capacidade de interpretar e concluir acerca dos dados armazenados em sua memória.

Infere-se então que a capacidade de sensoriar não deve ser tratada como uma criação unicamente humana, mas sim como a capacidade evolutiva deste ser que, aproveitando-se do grande dom lhe atribuído pela natureza, a inteligência, inspira-se nela e cria tecnologia baseado nos sensores naturais (LILLESAND; KIEFER, 1994).

A American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS, 2008) atribui dois períodos à história do sensoriamento remoto: um ligado ao desenvolvimento da fotografia e outro iniciado na década de 1960 que se caracterizou pelo desenvolvimento de múltiplos sistemas sensores. Figueiredo (2005) adere a este pensamento ao citar:

> O sensoriamento remoto (SR) teve início com a invenção da câmara fotográfica que foi o primeiro instrumento utilizado e que, até os dias atuais, são ainda utilizadas para tomada de fotos aéreas. A câmara russa de filme pancromático KVR-1000, por exemplo, obtém fotografias a partir de satélites com uma resolução espacial de 2 a 3 m. As aplicações militares quase sempre estiveram à frente no uso de novas tecnologias, e no SR não foi diferente. Relata-se que uma das primeiras aplicações do SR foi para uso militar. Para isto foi desenvolvida, no século passado, uma leve câmara fotográfica com disparador automático e ajustável. (FIGUEIREDO, 2005, p.2)

Seguindo esta corrente de pensamento, Chuvieco (2000) explica que o termo sensoriamento remoto foi idealizado na década de 60 como qualquer meio de observação remota. No período o termo se aplicava à fotografia aérea, o principal sensor daquele momento. Contudo, para o autor, o que melhor sintetiza esta conceituação é a visão humana, a qual caracteriza um processo de sensoriamento remoto ou como ele próprio define, a teledetecção. Sleen (1982) cita como sinônimo

para sensoriamento remoto, além do termo teledetecção, a expressão detecção remota. Estes são termos pouco citados pela literatura brasileira especializada.

Independente da terminologia empregada, o objetivo principal do sensoriamento remoto, de acordo com Crósta; Souza Filho (1997) é expandir a percepção sensorial do ser humano, seja através da visão panorâmica proporcionada pela aquisição de informações aéreas e espaciais, seja pela possibilidade de se obter informações inacessíveis à visão humana.

De acordo com Pacheco (2001), os trabalhos de sensoriamento remoto realizados na década de 1980 e princípio dos anos 90 avaliando a resposta espectral de objetos na superfície terrestre, apontaram para a necessidade de se estabelecer parâmetros específicos na determinação de emissividade e refletividade destes alvos. Destaca o autor que esta deficiência de dados foi um dos fatores que estimularam novas pesquisas e impulsionaram o desenvolvimento de diversos métodos para a determinação da resposta espectral dos alvos nos anos que se sucederam. Salisbury; D'Aria (1992) destacam que a análise espectral para a discriminação de alvos pode ser executada por meio de sensores orbitais, suborbitais ou ao nível do solo. As respostas obtidas são singulares a cada tipo de sensor, seja ele imageador ou não, podendo ser utilizado em trabalhos de análise de resposta espectral ou para a calibração de alguns dos sensores.

Rosa (1995) descreve que os sensores remotos podem ser operados a partir de sistemas instalados no solo, em aeronaves ou em satélites, gerando informações digitais dos alvos, possibilitando sua interpretação e conversão. Esta posição do sensor em relação ao alvo, de acordo com Novo (1992), define o nível de aquisição dos dados e a diferença dos níveis de aquisição determina propriedades diferentes nas formas de análise e interpretação dos dados, afetando as informações deles derivadas.

De acordo com Cowell (1969), no campo do sensoriamento remoto, só se pode ir mais longe do que o simples reconhecimento dos objetos mais óbvios se a análise dos dados estiver baseada no conhecimento das interações entre energia e matéria. Para que se possa entender as formas de coleta e detecção dos dados

torna-se necessário conhecer a forma como estes são gerados e como se propagam.

Existem duas teorias que explicam a propagação de energia a partir de uma fonte: as teorias corpuscular e ondulatória. A teoria do “modelo corpuscular” sustenta que, a partir das formulações de Planck, a propagação da energia ocorre pela emissão do fluxo de partículas por meio de “pulsos” ou “quantas”. Já a teoria do “modelo ondulatório”, seguindo os postulados de James Maxwell, postula que a propagação da energia se faz através de um movimento ondulatório (SANTOS, 2007). Para Ramalho (1993) a teoria ondulatória é bastante adequada para explicar a propagação da radiação eletromagnética em relação a comprimentos de onda maiores, mas quando se trata dos processos de absorção e emissão da radiação em curtos comprimentos de onda, a teoria corpuscular torna-se mais adequada. Assim, durante um período de tempo os pesquisadores buscaram comprovar qual das duas teorias estaria correta para caracterizar o comportamento da radiação em sensoriamento remoto. Foi em meados do século XX, segundo Rosa (1995), que os pesquisadores passaram a aceitar a dualidade da teoria ondulatória-corpuscular para explicar o comportamento das radiações no espectro eletromagnético.

As ondas eletromagnéticas, segundo Moreira (2005), são perturbações periódicas de campos elétricos e magnéticos originados por uma fonte energética. Meneses; Madeira Netto (2001) afirmam que a radiação eletromagnética é a única forma de energia capaz de se propagar no vácuo. Sobre o comportamento das ondas eletromagnéticas, acrescentam os autores:

> Sabe-se que, pelo princípio da conservação de energia, a radiação eletromagnética quando incide sobre a superfície de um material terá parte dela refletida por essa superfície, parte absorvida pelos átomos ou moléculas e parte podendo ser transmitida, caso a matéria exiba alguma transparência.(MENESES; MADEIRA NETTO, 2001, p.19)

Chuvieco (2000) alerta que apesar das radiações eletromagnéticas serem capazes de transferir energia até mesmo no vácuo, são necessários cuidados ao se analisar estas mesmas radiações quando se propagam na atmosfera, pois elas sofrem atenuações impostas por gases, vapor d'água e outras partículas em

suspensão, o que muda severamente o comportamento durante o processo de deslocamento da onda desde a fonte até atingir o alvo e deste até chegar ao sensor.

Como proposto por Rosa (1995), em sensoriamento remoto o que se registra basicamente é o fluxo radiante que deixa a superfície em direção ao sistema sensor, sendo importante que se conheça como esse fluxo se modifica espectralmente e espacialmente numa determinada área. A medida destas radiações é denominada de radiometria e segundo Meneses; Madeira Netto (2001, p.15) é definida como: “a medida quantitativa da intensidade de qualquer um dos tipos conhecidos de radiação, como a radiação eletromagnética emitida pelo sol ou por uma fonte artificial”. Ressaltam os autores que a radiometria é uma das mais importantes áreas do conhecimento no sensoriamento remoto. Salientam ainda que isso se deve ao fato de ser este o método mais adequado para avaliar com qual intensidade cada material reflete a radiação eletromagnética nos diferentes comprimentos de onda, o que permite explicar e entender como cada alvo aparecerá na imagem.

Moreira (2005) destaca que os radiômetros são uma denominação genérica para os sensores. Descreve o autor:

> Os equipamentos que medem a radiação eletromagnética são genericamente denominados radiômetros (radio, radiação e metro, medida). No campo do sensoriamento remoto, uma palavra que substitui bem o termo radiômetro é “sensor”. No sensoriamento remoto há vários tipos de sensores, alguns para uso no solo, outros são empregados em aeronaves e satélites. Essa gama de sensores permite quantificar diferentes grandezas da radiação eletromagnética. (MOREIRA, 2005, p.115)

O espectro eletromagnético, segundo Derenne (2003), abrange desde os raios cósmicos até as ondas de rádio, sendo caracterizado e ordenado em função do seu comprimento de onda (λ) ou de sua freqüência (f), que são relações inversamente proporcionais. Chuvieco (2000) destaca que a sucessão dos valores dos comprimentos de onda é contínua, mas, historicamente, foram estabelecidas uma série de bandas ordenadas em espaços dentro dos quais a radiação eletromagnética manifesta um comportamento similar.

De acordo com Steffen et al. (1981) os pesquisadores atribuem denominações diversas para as radiações eletromagnéticas variando estes nomes de acordo com a freqüência e o comprimento de onda onde se situam. Algumas denominações são decorrentes de sua origem ou dos processos utilizados na sua produção e determinação e outras advém da natureza histórica de cada uma delas. O intervalo de transição entre as bandas varia segundo diferentes autores, mas é ordenado no meio científico conforme a Figura 1.

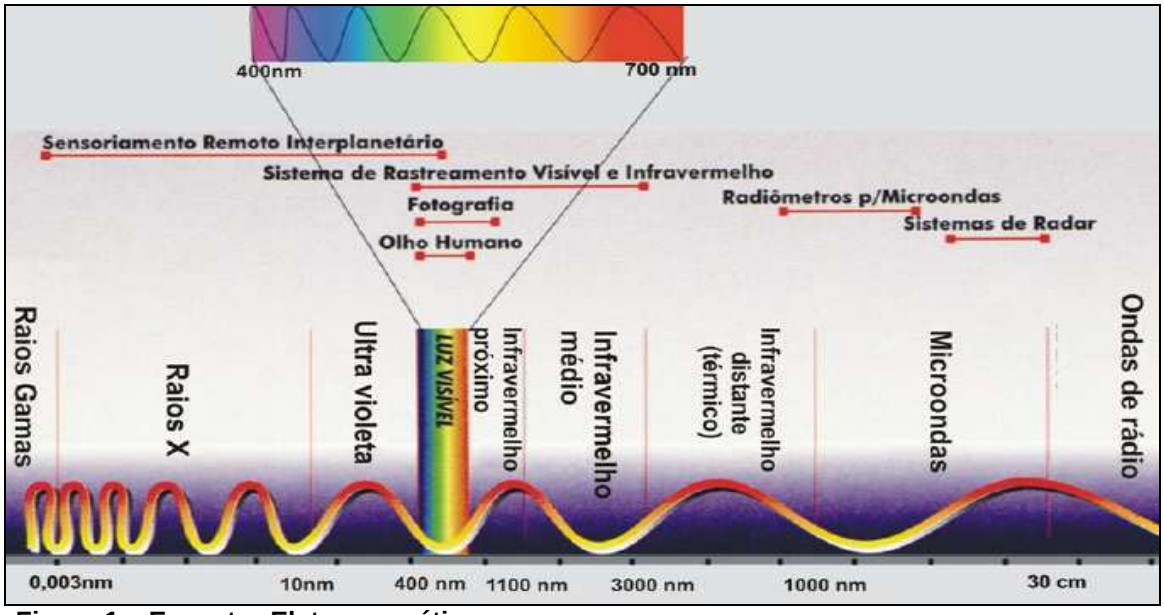

Figura 1 – Espectro Eletromagnético
Fonte: Figueiredo (2005, p.6).

As radiações eletromagnéticas viajam através do espaço na velocidade de $3x10^8$ m/s (velocidade da luz no vácuo). É possível diferenciar uma determinada onda eletromagnética a partir da sua freqüência, comprimento de onda e quantidade de energia. Assim, na natureza podemos encontrar diferentes tipos de fontes capazes de gerar uma grande variedade de ondas eletromagnéticas. A principal fonte de irradiação e a mais familiar ao homem é o sol (LIU, 2006).

Segundo Vettorazzi (1992), a faixa espectral que se estende de 0,35 μm até 15 μm é denominada de espectro óptico, sendo o intervalo mais utilizado em se tratando de sensoriamento remoto. Afirma o autor que, neste intervalo, os alvos interagem de duas formas distintas de acordo com o comprimento de onda que incide sobre eles. Em comprimentos de onda de 0,35 μm até aproximadamente 3μm

as radiações emitidas pela fonte são refletidas pelos objetos e detectadas pelos sensores. Porém, acima de 3 µm até 15 µm ocorre a absorção da energia radiante pelos alvos e sua posterior emissão, sendo registrada pelos sensores como a temperatura radiométrica dos alvos. Este comportamento distingue então o espectro óptico refletido e o emitido.

Novo (1992) descreve a caracterização destes intervalos. A autora destaca:

> A região entre 0,38 µm e 3,00 µm é chamada de porção refletida do espectro, porque a energia que os sensores detectam nessa região é basicamente originada da reflexão solar pelos objetos na superfície. O espectro de energia refletida divide-se ainda, em três subregiões: visível, infravermelho próximo e infravermelho médio... Os sensores termais operam entre 7 µm e 15 µm, que é uma região também conhecida como infravermelho distante. (NOVO, 1992, p.53)

A Figura 2 destaca, de maneira simplificada o espaço abrangido pelo intervalo óptico no espectro eletromagnético (aproximadamente entre 0,35 µm até 15 µm) e auxilia na distinção entre os intervalos de radiação refletida e emitida.

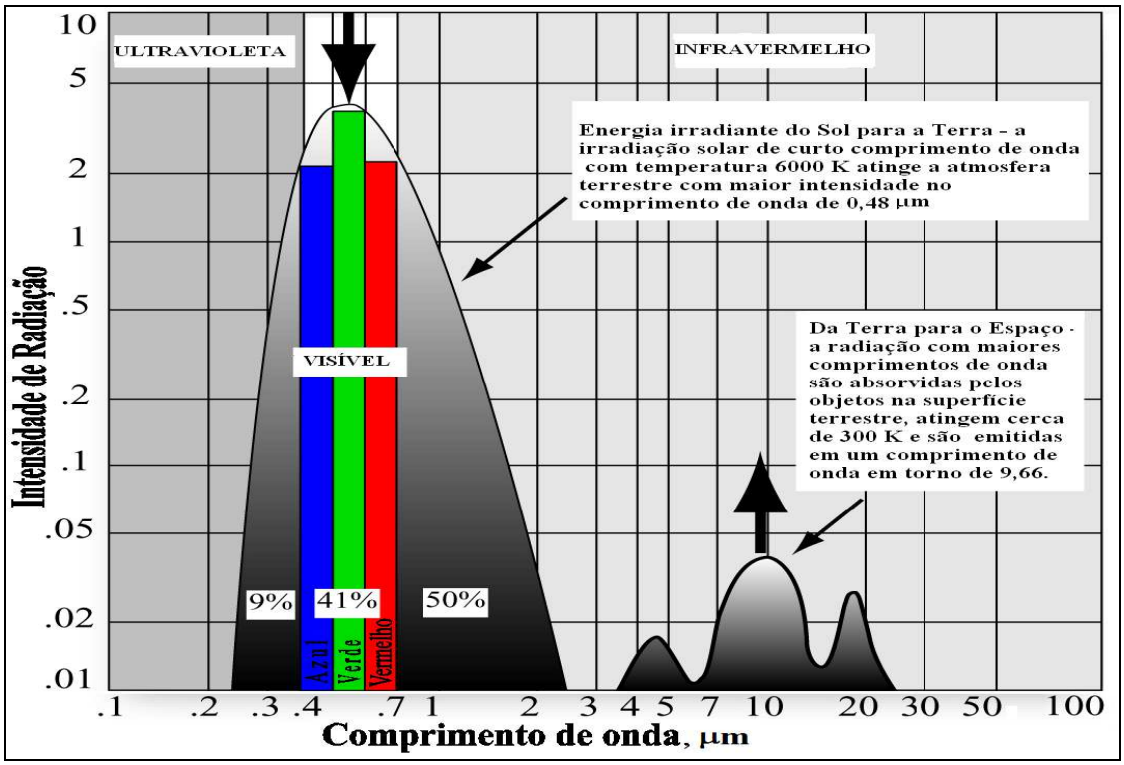

Figura 2 – Intervalos de Radiação Refletida e Emitida
Fonte: NASA/IPAC (2008) – adaptado pelo autor.

Assim, considerando as afirmações anteriores, o espectro óptico é constituído pelos intervalos de comprimento de onda que abrangem o visível, o infravermelho próximo, o médio e o distante (termal). A diferença entre os intervalos se resume na forma como se comporta a energia após incidir no alvo e sua captação pelo sensor.

2.2 Sensores Imageadores e Não-Imageadores

De acordo com Figueiredo (2005) os instrumentos capazes de captar as radiações refletidas ou emitidas provenientes dos alvos são denominados sensores. Afirma o autor que estes compõem o sistema de captação de informações e imagens de alvos e sua evolução tecnológica tornou a coleta de dados mais fácil e rápida, proporcionando um acréscimo na qualidade da resolução das imagens anteriormente obtidas de forma analógica.

Moraes (2002), assim como a maioria dos pesquisadores em sensoriamento remoto, distingue os sistemas sensores entre imageadores e não-imageadores. O sensor imageador é, conforme a autora, aquele que fornece como produto uma imagem da área observada. Um exemplo destes, segundo ela, são as câmaras fotográficas. Já os sistemas não-imageadores, também denominados radiômetros, apresentam o resultado em forma de dígitos ou gráficos.

Para Boschetti (2007) sensores são equipamentos capazes de coletar energia e convertê-la em sinal passível de registro e extração de informações acerca do objeto sensoriado. Novo (1992) ressalta que um sensor é um dispositivo que recebe e responde a um estimulo. A pesquisadora salienta que a atividade de imagear uma determinada área ou alvo requer a observância de diversos fatores que influenciarão positiva ou negativamente na obtenção desta imagem, de acordo com o tipo de sensor empregado.

Conforme Gomes (1998) o sensor é um dispositivo capaz de responder à radiação eletromagnética em determinada faixa do espectro eletromagnético, registrá-la e gerar um produto numa forma adequada para ser interpretada pelo

usuário. O American Geological Institute – AGI (1968) apresenta um conceito particularizado acerca do desenvolvimento de sensores voltados para o meio científico. A publicação do referido Instituto restringe sua definição a aplicações técnicas ao descrever que:

> Sensores remotos são dispositivos puramente ópticos, opticomecânicos, eletro-ópticos ou puramente eletrônicos, desenvolvidos para a medição (captação, processamento e registro) da radiação eletromagnética emitida ou refletida pela Terra, por planetas distantes ou pelos seus satélites naturais, em várias frequências, ângulos e polarizações, e sob várias condições. (AGI, 1968, p.[ ])

Os pesquisadores na área de sensoriamento remoto geralmente concentram os sensores em três grupos segundo critérios básicos de origem, operação e destino das radiações. Segundo Novo (1992) os sensores podem ser agrupados quanto: à fonte de energia, à região do espectro em que operam e ao produto final após a transformação da radiação detectada. Rosa (1995) avança na identificação dos sensores salientando que:

> Quanto a dependência de fonte de radiação são classificados em ativos (os que possuem fonte própria de energia eletromagnética) e passivos (que dependem de fonte externa iluminando o alvo).... De acordo com a região do espectro explorada, podem ser classificados em sensores ópticos (necessitam de equipamentos ópticos como lentes, espelhos e prismas) e sensores de microondas (utilizam antenas).... Quanto ao dado gerado os sensores são imageadores (resultado final são imagens da superfície sensoriada) e não-imageadores (geram dados pontuais do alvo). (ROSA, 1995, p.29)

Pizarro (1998) destaca o fato dos sensores, imageadores ou não, possuírem padrões próprios de detecção da energia radiante dos alvos, o que infere a eles um padrão diferenciado de registro, pois cada sensor é concebido de acordo com o fim a que se destina. Isto faz com que se obtenham imagens ou dados digitais sobre os objetos na superfície da terra com um padrão singular a cada sensor. Conforme Novo (1992), os sensores imageadores devem ser projetados para atuar em intervalos espectrais onde comprimentos de onda possuam sensibilidade à energia

radiante, sendo a radiação emitida ou refletida de volta à atmosfera, valendo-se da denominada radiação de retorno. Para tanto a autora orienta que sejam conhecidas algumas características e aplicabilidades dos sensores.

Rosa (1995) afirma que a grande maioria dos sensores imageadores se concentra na faixa óptica. De acordo com o autor, estes intervalos são preferidos por apresentarem uma imagem mais próxima daquela que o olho humano está acostumado a observar. São os mais empregados em sensoriamento remoto, pois as imagens obtidas são de fácil interpretação, apresentando uma melhor relação custo-benefício. Moraes (2002) salienta, porém, que os sensores são construídos de acordo com sua finalidade e dentro de intervalos que possuem transparência atmosférica. As áreas de transparência são denominadas “janelas atmosféricas”, descreve a autora. Estas janelas estão representadas na Figura 3 pelos cavados da curva de absorção atmosférica.

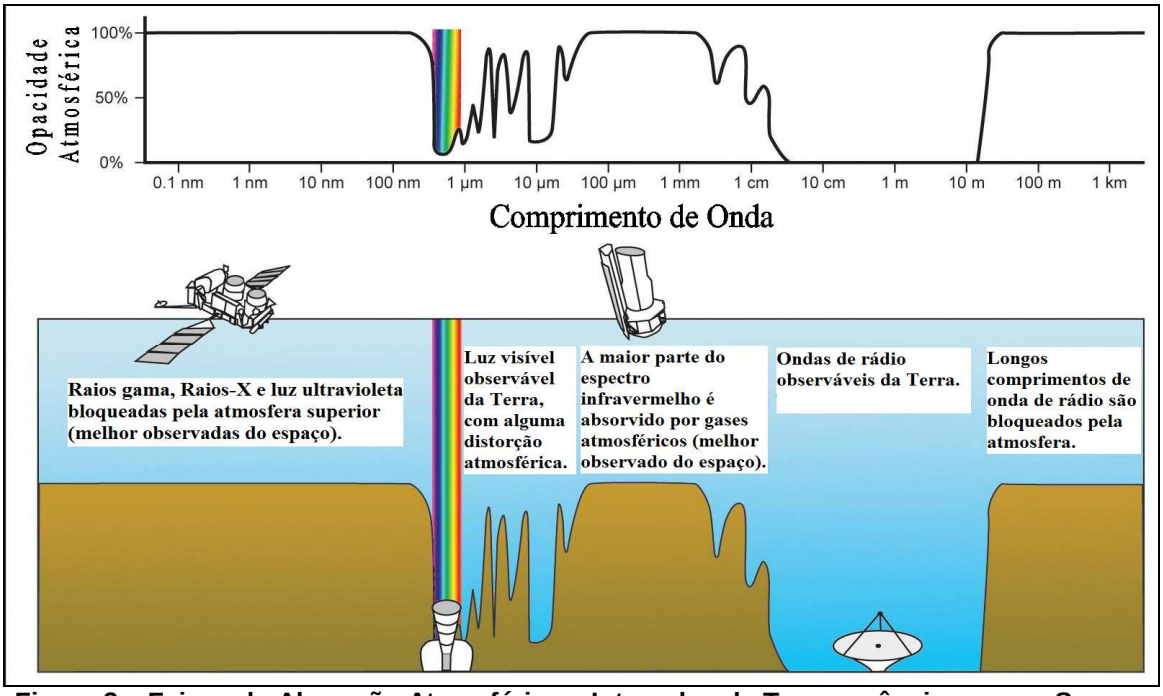

Figura 3 – Faixas de Absorção Atmosférica e Intervalos de Transparência para os Sensores
Fonte: NASA/IPAC, 2008, adaptado pelo autor.

Moraes (2002) destaca também que todos os sensores apresentam limitações ao emprego. Partindo-se do raio X, que atua em um intervalo de pequenos comprimentos de onda e que restringe sua aplicação a alvos próximos ao sensor.

Também os sensores ópticos no intervalo de comprimento de onda refletido possuem restrições, pois dependem da irradiação solar ou outra fonte de iluminação e de uma meteorologia favorável para uma efetiva utilização. Já os imageadores termais, apesar de serem sensibilizados pela radiação emitida pelos alvos, sofrem atenuação por camadas de nuvens espessas. Por fim, os denominados sensores ativos (imageadores Radar) que possuem fonte própria, emitindo e recebendo o sinal, possuem limitações na geometria e formação da imagem, além da sua difícil interpretação.

O Instituto de Estudos Avançados (IEAv, 2004) salienta a importância de se conhecer a plataforma onde está instalado o sensor, pois diferenças significativas ocorrem no tratamento e interpretação dos dados de acordo com cada sistema. Em seu Manual de Sensoriamento Remoto na Faixa Óptica, o IEAv (2004) busca distinguir os sensores que operam em plataformas satélite e os aerotransportados. Cita a publicação:

> Os sensores remotos que operam da atmosfera são chamados de sensores remotos aerotransportados os quais, geralmente, são embarcados em balões (cativos ou não), dirigíveis e aeronaves. Os sensores remotos que operam do espaço são tratados como sensores espaciais e subdivididos em duas classes: orbitais e não orbitais. (IEAv, 2004, p.86)

Da mesma forma Gomes (1998) afirma que, seja nos sensores transportados por aeronaves ou em plataformas satélite, um dos fatores que influencia o sinal coletado é a camada atmosférica que se situa entre o sensor e o alvo causando sensíveis alterações na intensidade e composição espectral da radiação recebida pelo sensor. No entanto, o autor não está se referindo apenas as nuvens, mas a todos os tipos de atenuações atmosféricas (poeira, gases, gotículas,...). Assim, é importante conhecer as atenuações atmosféricas sobre a energia eletromagnética em sua trajetória desde a fonte de irradiação (sol) até atingir os alvos na superfície terrestre e destes até o sensor.

Na escolha dos sensores, a avaliação das vantagens e limitações é extremamente importante (CHUVIECO, 2000). O autor salienta que os sensores

fotográficos analógicos, apesar da alta resolução espacial, não oferecem a possibilidade de análise através de técnicas computacionais por operarem em uma ampla faixa do espectro, não possibilitando sua segmentação. Da mesma forma, afirma o autor que os sistemas multiespectrais ou hiperespectrais podem ser tratados e interpretados por técnicas de análise digital.

Estes sensores, segundo Moreira et al. (2005) são classificados como eletroópticos e são empregados em larga escala frente aos sistemas fotográficos. Descrevem os autores que:

> Atualmente, a grande maioria dos sensores remotos imageadores que operam na região dos espectros refletido e emitido são sistemas eletroópticos que, ao longo do tempo, vêem tomando espaço frente aos sistemas fotográficos. Os dispositivos eletroópticos, resumidamente, captam o fluxo de energia radiante da cena através de um sistema óptico e o transformam, por meio de detectores, em sinal elétrico que, por sua vez, é digitalizado e organizado na forma de imagem digital. (MOREIRA et al., 2005, p.355)

O IEAv (2004) conceitua os sensores de imageamento do tipo eletroópticos como aqueles que registram os dados em forma de sinal elétrico transmissível à distância. Estes, de acordo com o referido Órgão, se caracterizam por possuir dois componentes básicos: o sistema óptico e o detector. O primeiro focaliza a energia proveniente da cena sobre o detector, o qual produz um sinal elétrico que será processado. A publicação classifica estes sensores em dois subgrupos: os sensores de quadro que gravam os dados de forma instantânea em uma matriz bidimensional e os sensores de varredura, os quais fazem a leitura do sinal compondo linhas e colunas. A imagem multiespectral consiste em imagens de um mesmo objeto, tomadas com diferentes comprimentos de ondas eletromagnéticas (GOMES, 1998).

2.3 Sensor Aerotransportado MSS EPS-A 31T

De acordo com Moreira et al. (2005), as pesquisas na área de sensoriamento remoto no Brasil até o final do século XX, foram desenvolvidas baseadas em dados técnicos e informações adquiridos de órgãos ou empresas internacionais. Somente com o lançamento do satélite CBERS e a aquisição de alguns sensores multiespectrais, hiperespectrais e de microondas para operação em aeronaves, os pesquisadores brasileiros passaram a contar com dados brutos e originais para o desenvolvimento de trabalhos científicos. Os autores ressaltam que:

> Até hoje poucas e restritas coletas de dados ópticos multi ou hiperespectrais de caráter científico puderam ser realizadas no país com sensores aerotransportados, todas elas com equipamentos de propriedade estrangeira, através de contratos comerciais ou de convênios de instituições brasileiras de pesquisa com parceiros internacionais.(MOREIRA et al., 2005, p. 1)

Ming (2006), ao propor o emprego de sensores multiespectrais orbitais, salienta que os dados obtidos com estes sensores são pouco precisos para a classificação e interpretação de alvos urbanos, registrando os objetos na imagem de forma muito complexa, o que o torna algumas vezes ineficaz na discriminação de objetos nestas áreas. O autor reforça que:

> O problema maior está na dificuldade em discriminar árvores e gramados, em isolar alguns edifícios devido a composições de diversos telhados, efeitos de sombra e na classificação de carros em estradas... Isto não ocorre quando o sensor multiespectral é aerotransportado, pois há um grande ganho em resolução espacial e uma maior possibilidade de monitoramento a campo destes objetos. (MING, 2006, p.66)

Esta observação verificada por alguns pesquisadores levou-os a buscar dados oriundos de sensores de alta resolução, como o caso dos sensores aerotransportados. Para Pizarro (1998) a utilização de sensores multiespectrais em

sensoriamento remoto será tão vantajosa quanto for clara a finalidade de sua utilização. Afirma, contudo, que o espectro obtido através do sensoriamento remoto multiespectral não é capaz de reconstituir adequadamente as bandas de absorção presentes no alvo imageado quando esta observação refere-se a alvos extremamente complexos.

De acordo com publicação do Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM, 2007), um dos novos sensores a operar no Brasil consiste de um espectrômetro de escaneamento linear no qual a varredura é perpendicular à direção do vôo. Este sensor imageador possui canais de dados nas regiões do visível, infravermelho próximo, médio e termal, sendo denominado de Multispectral Scanner System (MSS). A função deste sensor, conforme indica o IEAv (2004) é prover dados explorando as regiões de transmitância do meio atmosférico, por meio do posicionamento das bandas de operação deste nas regiões de janelas atmosféricas.

Os sistemas sensores multiespectrais e hiperespectrais aerotransportados, segundo o IEAv (2004), são fundamentais para a localização e interpretação de alvos, pois geram produtos para aplicação em cartografia, restituição altimétrica, modelos para simulação de vôo, estudos de comportamento espectral de alvos e atividade de inteligência.

A página eletrônica da Geophisical & Environmental Research Corporation (GER, 2007), fabricante do sensor MSS EPS-A 31T, destaca que o sistema de varredura multiespectral utiliza um conjunto óptico através do qual a cena é imageada em sua totalidade, sendo a energia registrada por um arranjo linear de detectores. A unidade sensora consiste de um módulo de varredura baseado em um scanner tipo Kennedy e de um espectrômetro que divide a energia óptica proveniente do módulo de varredura e converte-as em sinais eletrônicos. Já o modulo de observação e gravação consiste de um console dotado de display, teclado e rack eletrônico. O sistema básico EPS-A 31T é formado pelo módulo de escaneamento e pelo console optrônico. A Figura 4 apresenta a unidade sensora e seus periféricos:

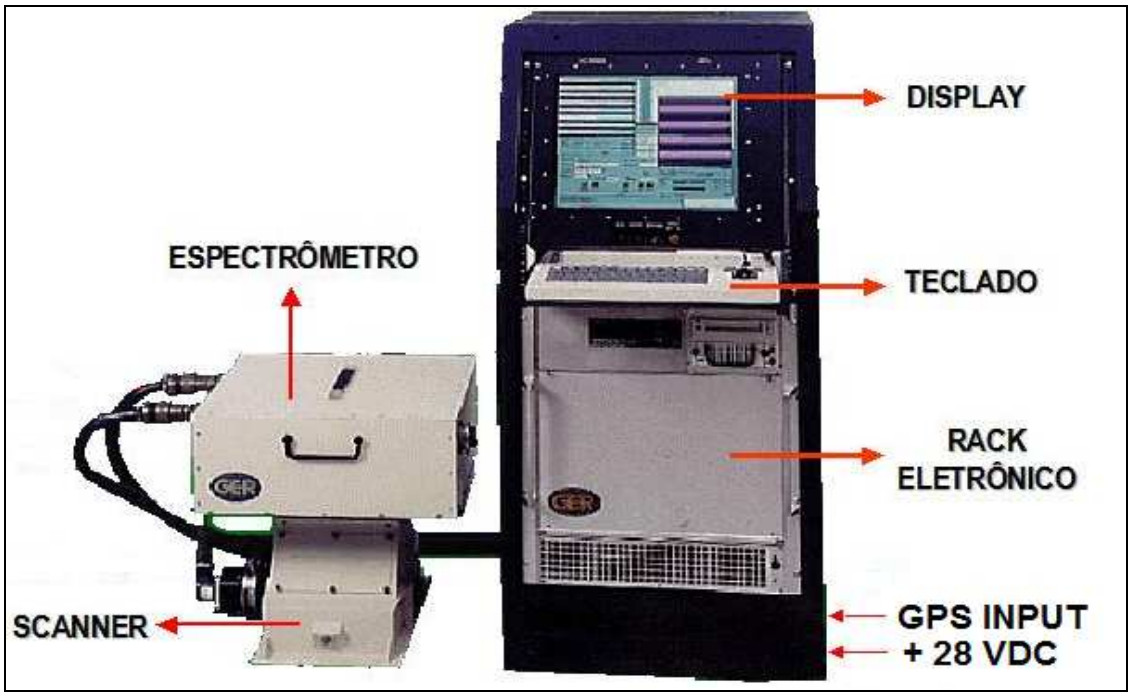

Figura 4 – Sistema Sensor Multiespectral EPS-A 31T
Fonte: Geophisycal & Enviromental Research (GER), 2007, adaptado pelo autor.

Tavares Junior (2004), em consulta a bibliografias sobre o sensor, relata que o sistema MSS tem o sinal de cada detector amplificado separadamente e o sinal elétrico de saída é amostrado seqüencialmente, formando uma linha de pontos amostrados no terreno. O autor destaca que:

> À medida que a plataforma se desloca ao longo da linha de vôo ou órbita, sucessivas linhas são imageadas no terreno pelo arranjo linear de detectores e posteriormente são transmitidas. No cálculo do tamanho do elemento imageado no terreno, a denominada resolução espacial nominal (R) deve-se conhecer alguns parâmetros como: a altura de imageamento (h), as dimensões (diâmetro) dos detectores (d) e a distância focal (f): **R = hd/f.** O intervalo de tempo entre duas linhas sucessivas é igual ao tempo que a plataforma leva para deslocar-se à distância subentendida pelo ângulo instantâneo de visada (IFOV). (TAVARES JUNIOR, 2004, p.15)

No manual do equipamento multiespectral EPS-A 31T (GER, 2007), traduzido pelo Instituto de Estudos Avançados (IEAv), pode-se observar que:

> O MSS EPS-A 31T é um mapeador aerotransportado que escaneia o terreno numa direção perpendicular a direção do vôo, captando a radiação do cenário de vigilância e provendo meios de informações espectrais coletadas em 11 ou 31 canais espectrais sendo 8 ou 28 no visível e infravermelho próximo, 2 canais no infravermelho médio e 1 canal no infravermelho termal. (GER, 2007, p.8)

Estes canais tem capacidade de obtenção de dados em intervalos específicos do espectro eletromagnético. Para a pesquisa que foi efetuada, foi utilizado o sistema com 31 canais, os quais atuam nos intervalos apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – Intervalos espectrais no modo de 31 canais do sensor MSS EPS-A 31T

Canais	Intervalo de Comprimento de onda (nm)		
1	420	a	450,0
2	450	a	480,0
3	480	a	520,0
4	520	a	550,0
5	550,5	a	575,5
6	575,5	a	600,5
7	600	a	630,0
8	630	a	660,0
9	660,5	a	675.5
10	675,5	a	690,5
11	690	a	710
12	710,5	a	725,5
13	725	a	745
14	735,5	a	760,5
15	760	a	780
16	780,5	a	795,5
17	795	a	815
18	815,5	a	830,5
19	830	a	850
20	850,5	a	865,5
21	865	a	885
22	885,5	a	900,5
23	910	a	930
24	930,5	a	955,5
25	955,5	a	980,5
26	982	a	1.000,7
27	1.010,5	a	1.035,5
28	1.035,5	a	1.050,5
29	1.550	a	1.750
30	2.080	a	2.350
31	8.500	a	12.500

Fonte: Geophisical & Environmental Research Corporation (GER), 2007.

O manual do equipamento (GER, 2007) destaca que o imageador aerotransportado MSS EPS-A 31T é um sensor muito eficaz principalmente quando

se busca discriminar alvos e objetos em um cenário complexo como os encontrados em área urbanas. A imagem obtida por este sensor é da ordem de 2^{16} bits, o que totaliza 65.536 tons de cinza (intervalo de 0 a 65.535) e são gravados em fitas 8mm Exabyte Mammoth 8900.

Tavares Junior (2004) afirma que o conhecimento do espectro de reflectância dos diversos materiais permite quantificar e prever a distribuição da REM por eles refletida.

> Este conhecimento é fundamental para a escolha dos melhores canais ou bandas espectrais, onde algumas características dos alvos sejam realçadas, ou mesmo para a interpretação de imagens ou dados obtidos por sensores remotos. Para uma curva de reflectância espectral singular a um tipo de alvo, distinta das demais, se dá o nome de assinatura espectral. Assim na interpretação de imagens multiespectrais, o intérprete deve levar em conta as variações de reflectância com a variação do comprimento de onda (λ), para uma correta interpretação dos dados. (TAVARES JUNIOR, 2004, [ ])

2.4 Sensor Espectroradiômetro FieldSpec Pro Fr

Miguel et al. (2005) afirmam que uma técnica para obtenção de informações sobre características dos objetos na superfície terrestre é a espectroradiometria. Os autores definem esta técnica de sensoriamento remoto como aquela que obtém informações sobre um alvo em diferentes regiões do espectro eletromagnético. Os autores destacam que:

> A medida de reflectância é captada por sensores, denominados espectroradiômetros, através da comparação entre o fluxo de radiação refletida e a quantidade de radiação incidente sobre o solo. Os espectroradiômetros decompõem a radiação incidente em diferentes comprimentos de onda, possibilitando medir a resposta do solo de maneira contínua ao longo do espectro eletromagnético, fornecendo um conjunto de dados numéricos ou gráficos, conhecidos como curvas ou assinaturas espectrais. (MIGUEL et al., 2005, p.1)

A espectroradiometria, de acordo com Meneses; Madeira Netto (2001) pode ser definida como a técnica de sensoriamento remoto que obtém informações sobre um alvo em diferentes regiões do espectro eletromagnético. A medida de reflectância é captada e interpretada pelos espectroradiômetros, através da comparação entre o fluxo de radiação refletida e a quantidade de radiação incidente sobre o alvo.

Estudos sobre espectroradiometria apresentados na literatura por Salisbury; D'Aria (1992) demonstraram que a pesquisa da resposta espectral para a caracterização de alvos pode ser executada em nível de campo com equipamentos denominados espectroradiômetros. Estes equipamentos realizam ampla leitura do espectro com altíssima resolução e podem também sensoriar instalados em aeronaves (suborbitais) e satélites (orbitais). Os dados, segundo os autores, podem ser comparados e utilizados na determinação de padrões de resposta espectral para cada tipo de alvo. As respostas obtidas são singulares a cada tipo de sensor imageador e servirão, posteriormente, para a calibração dos mesmos. Meneses; Madeira Netto (2001) salientam que os espectroradiômetros decompõem a radiação incidente em diferentes comprimentos de onda, possibilitando medir a resposta da superfície de maneira contínua ao longo do espectro eletromagnético, fornecendo um conjunto de dados numéricos ou gráficos, conhecidos como curvas ou assinaturas espectrais.

Conforme descreve Hatchell (1999), o espectroradiômetro portátil FieldSpec Pro FR possui um FOV (Field Of View) de 25º e opera na faixa de 350 a 2.500 nm do espectro eletromagnético. Sua resolução espectral é de 10 nm e sua capacidade de coleta de dados é de até 10 espectros por segundo. A unidade detectora, denominada pistola de mão, está conectada ao instrumento por um cabo de fibra óptica com comprimento de 1,2m a 1,4m de comprimento e possui três sensores: um sensor de malha de fotodiodo de 512 elementos e dois sensores resfriados termoeletricamente (fotodiodos InGaAs). O FieldSpec realiza medições de irradiância solar, reflectância e radiância. Além dos sensores, o equipamento opera também com um computador notebook IBM ThinkPad, duas baterias e uma Placa de referência (Spectralon). A interface de comunicação entre o espectroradiômetro e o computador ocorre através de uma porta paralela bidirecional. Alguns detalhes deste sensor podem ser observados na Figura 5.

Figura 5 – Espectroradiômetro FieldSpec Pro FR
Fonte: Samwoo Scientific Co. (2008).

Pacheco (2001) descreve os procedimentos para calibração e obtenção de respostas pelo sensor, destacando que, a partir de um padrão de referência, poderemos calibrar nossos sensores. Esta calibração, segundo o autor, consiste no ajustamento do sistema sensor para que ele forneça respostas padronizadas, evitando que se obtenham respostas incoerentes. Se isto ocorrer teremos a falsa impressão de serem alvos distintos entre si quando na realidade são similares e guardam semelhanças em suas propriedades físicas. Gomes (1998) afirma, no entanto, que a calibração do sistema sensor não poderá ser avaliada se não houver uma padronização no processamento dos dados.

Moreira (2005) salienta que na análise dos dados obtidos por sensores remotos é imprescindível que se alie a interpretação aos padrões de referência daquilo que foi sensoriado a fim de que as informações sejam fidedignas, ou seja, o dado analisado pelo intérprete corresponda ao que foi registrado. Neste aspecto, Gomes (1998), expressa de maneira prática sua posição, destacando a idéia de que o profissional fotointérprete somente poderá afirmar que uma ponte é de concreto e não de ferro, por exemplo, caso detenha, anteriormente, imagens de uma ponte de concreto e uma de ferro e que uma equipe de solo (trabalho de campo) tenha ido ao local e lhe trazido esta informação. Esta coleta, conforme o autor é denominada de amostra de campo ou verdade terrestre. Se o processo de imageamento estiver controlado e padronizado o intérprete, por comparação, poderá afirmar com grande possibilidade de acerto a constituição física dos alvos.

2.5 Caracterização e Reflectância dos Alvos Urbanos

De acordo com Novo (1992, p.180): “para que possamos extrair informações a partir de dados de Sensoriamento Remoto, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem neste comportamento.”

De acordo com Pacheco (2001) o registro e imageamento da variabilidade espacial, espectral e temporal das áreas urbanas são ainda tema de poucas pesquisas no Brasil e limitam-se a elaboração de pesquisas baseadas em modelos de abstração deliberados. Para Pancher; Freitas (2007) isto ocorre, sobretudo, devido ao fato dos trabalhos em sensoriamento remoto estarem baseados, principalmente, em sensores imageadores orbitais, ocorrendo o desenvolvimento de estudos ambientais e de uso e cobertura do solo com imagens satélite de baixa e média resolução. Segundo os autores, o estudo da dinâmica urbana requer o emprego de sensores imageadores de alta resolução, pois os objetos inseridos neste meio são geralmente pequenos e de difícil diferenciação quando visualizados do espaço e com vista vertical.

Meneses (2001) destaca que não se conhece, com exceção da água, as propriedades ópticas dos componentes da superfície terrestre que envolvem efeitos como refração, difração e espalhamento, de acordo com as características físicas de cada material. O autor relata:

> Não há, dessa forma, uma adequada teoria física que descreva, com precisão, a reflectância das complexas superfícies normalmente encontradas nos materiais da natureza. Para fins práticos, considera-se que dos fatores macroscópicos que mais controlam a reflectância nas medidas feitas em campo ou com amostras de materiais coletados, são os relacionados às características físicas e texturais da superfície que, de certa forma, são dependentes do arranjo textural dos elementos, da forma, tamanho, estrutura,... (MENESES, 2001, p.28)

Conforme Liu (2006), a adequação da ocupação dos espaços e o planejamento da expansão urbana com a identificação de áreas metropolitanas e o potencial para industrialização ou habitação passam pela realização de pesquisas e o emprego de técnicas de sensoriamento. O autor afirma que as zonas de cobertura específica do solo urbano são bem delineadas, mas sua caracterização somente é possível quando avaliados com sensores de boa resolução espectral, espacial e temporal, devido as constantes e tênues ações humanas. Algumas interferências do homem na paisagem urbana, como área de asfalto, estruturas de concreto, coberturas metálicas e de amianto, pavimentos em basalto, cascalho e granito, além da vegetação cultivada, deixam traços geométricos que por vezes são confusos em imagens pancromáticas, mas quando fracionadas em intervalos espectrais tornam-se distintas e mais facilmente interpretadas.

Kux; Sousa (2005) destacam que o processo de crescimento das cidades é um fenômeno acelerado e contínuo no cenário atual, o que aponta para a necessidade de um acompanhamento continuado. Relatam os autores que:

> Faz-se necessário um monitoramento permanente deste cenário. Neste sentido, o Sensoriamento Remoto apresenta-se como um instrumento de grande potencial para o levantamento e avaliação, devido à possibilidade de monitoramento em tempo quase real. O estudo de áreas urbanas pode ser feito em várias escalas de acordo com a abordagem definida. Nestas diferentes escalas de abordagem, estão presente os produtos de sensores remotos. A primeira escala de abordagem é aquela que tem por objetivo identificar a estrutura urbana-regional, ou seja, a visão da cidade e do seu entorno. (KUX; SOUZA, p.1)

Os sensores remotos, segundo Foresti (1986), proporcionam uma visão integrada que permite avaliar as condições ambientais urbanas, sua análise multitemporal favorece o acompanhamento das alterações na expansão destas áreas. Ricci; Petri (1965) definem a interpretação, em linhas gerais, como a previsão do que não pode ser realmente visto. Os autores citam que a interpretação de imagens é o resultado da combinação de raciocínios dedutivos e indutivos, baseados no princípio de causa e efeito. Com isso, alertam para o cuidado a ser tomado acerca da leitura visual que se realiza sobre dados obtidos em sensoriamento remoto.

Rosa (1995) afirma que as imagens originais costumam apresentar degradações radiométricas e geométricas, o que pode ser amenizado com o emprego de sistemas digitais para depuração dos dados, exigindo uma atenção maior de quem realiza a interpretação. Para Roberts et al. (1998), atualmente as variabilidades espacial e espectral dos ambientes urbanos tornaram-se um desafio que decorre da necessidade de conhecer e monitorar ambientes dinâmicos como as áreas urbanas. Os fatores de maior influência sobre a resposta espectral dos alvos, de acordo com Jensen (1983) são: a relação geométrica entre a energia incidente e o ângulo de visada do sensor, os efeitos atmosféricos e as propriedades físicas dos materiais estudados. Segundo o autor, também as superfícies adjacentes contribuem na medida do fator de reflectância do alvo estudado.

Meneses (2001) alerta para o fato de que ao se utilizar as medidas espectroradiométricas dos materiais para orientar a calibração da interpretação das imagens, não se deve considerar este um modelo absoluto, pois, em alguns casos o intérprete necessitará do conhecimento de campo, principalmente das condições da textura, estrutura e da forma dos objetos para agregar confiabilidade a sua interpretação.

2.6 Análise Estatística e Interpretação de Imagens

A imagem, segundo Câmara et al. (2002) é uma matriz onde cada elemento está associado a um valor inteiro, sendo utilizado para visualização e apresentação gráfica de uma grade regular. Ainda que de forma instável, o método de análise de dados incorporando informações da posição no espaço tem estado presente com freqüência na literatura estatística, afirma Diggle; Ribeiro Junior (2007). Assim compreendido, torna-se fácil associar a interpretação e classificação de imagens com os modelos estatísticos multivariados.

De acordo com Moita Neto (2004) as técnicas de análise multivariada implementadas por meio de softwares computacionais não respondem diretamente a questões de complexidade estatística, requerendo que se alie a elas um profundo conhecimento dos fundamentos teóricos que antecedem suas abordagens, para se obter sucesso nas inferências acerca dos resultados. Com relação a este fato o autor relata:

> A complexidade matemática, própria dos métodos multivariados, sugere, como medida de bom senso, uma descrição desmatematizada de seus conteúdos, remetendo ao uso do software estatístico o trabalho enfadonho do cálculo. Os programas estatísticos bem construídos escondem o edifício matemático atrás de uma interface amigável ao pesquisador. Deste modo, é possível trabalhar a parte mais nobre desta ciência que é a inferência estatística. Ou seja, o que posso afirmar com os dados que tenho. Ou ainda, que conhecimento científico produzi no meu trabalho. (MOITA NETO, 2004)

A ciência estatística trata da organização, descrição, análise e interpretação dos dados amostrais com o objetivo de obter conclusões sobre populações, com base nos resultados observados em amostras extraídas dessas populações (COSTA NETO, 2002). Estas operações causaram nas duas últimas décadas, conforme Diggle; Ribeiro Junior (2007), um acelerado desenvolvimento das metodologias e técnicas estatísticas. O autor relata que:

> A área de estatística é uma entre as quais se percebe um pronunciado desenvolvimento de métodos e recursos para tratamento de tais dados, o que é explicado pela facilidade de coleta e referenciamento dos dados, a capacidade de armazenagem, o desenvolvimento de recursos tais como os sistemas de informações geográficas (SIG's) a possibilidade de integração de aplicativos e códigos computacionais e, talvez principalmente, a crescente capacidade de processamento que permite métodos anteriormente impraticáveis serem agora desenvolvidos e aplicados com relativa simplicidade e rapidez. (DIGGLE; RIBEIRO JUNIOR, 2007, p.3)

Assim, o método estatístico ampliou em várias ordens de grandeza a capacidade de se extrair informações de imagens e dados analisados de forma digital. As metodologias estatísticas adequadas ao universo da análise estatística são tratadas de forma coletiva como "estatística espacial" (DIGGLE; RIBEIRO

JUNIOR, 2007). Para Diniz (2008) a análise de dados espaciais depende de minuciosa observação dos dados obtidos. Cita o autor:

> A análise de dados espaciais envolve uma descrição apurada de dados relacionados à processos operando no espaço, bem como a exploração de padrões e relações em tais dados e a busca de explicação para tais padrões e relações. Cabe, portanto, fazer a distinção entre os métodos que são essencialmente voltados para a visualização de dados espaciais – aqueles que são exploratórios; aqueles voltados para resumir e investigar padrões e relações espaciais; e aqueles que contam com especificação de um modelo estatístico e a estimação de parâmetros. (DINIZ, 2008, p.3)

De acordo com Coimbra et al. (2005) a análise estatística do tipo multivariada vem crescendo consideravelmente, motivando a sua ampla utilização por parte dos pesquisadores. Conforme os autores, isto criou uma grande demanda por conhecimentos específicos tanto a respeito da sua aplicação quanto das suas pressuposições ou limitações. Para Meyer (1983) uma observação multivariada é uma coleção de medidas sobre uma determinada variável, seja ele um ensaio, uma experiência ou relação entre objetos. Quando é relacionado o conjunto de variáveis aos números de observações, arranjados em uma estrutura de linhas e colunas, obtém-se uma matriz de dados. Cada linha em uma matriz representa uma observação multivariada, associada a um vetor aleatório de um conjunto de variáveis dispostas em colunas (MEYER, 1983).

Santos (2000) descreve que, a partir de uma matriz de dados, para estimar a variância populacional é gerada uma matriz variância e covariância (MVC), ou matriz de dispersão, sendo esta uma matriz quadrada, simétrica, cuja diagonal contém a variância da variável e em cada interseção linha e coluna, a covariância das variáveis. Segundo Jain et al. (2000) a matriz de variância e covariância é apenas o primeiro passo para a caracterização de objetos e superfícies. Os autores salientam que:

> O melhor extrator de características linear conhecido é o de análise de componentes principais (PCA). Essa transformada, também conhecida como transformada de Hotelling e por expansão de Karhunen-Loève, é amplamente utilizada pela comunidade de reconhecimento de padrões e de reconhecimento de faces. (JAIN et al., 2000, p.13)

A análise de componentes principais, de acordo com Moita Neto (2004) é executada para a obtenção de um pequeno número de combinações lineares de um conjunto de variáveis que retenham o máximo possível das informações contidas nas variáveis originais. Ressalta o autor que estas componentes são extraídas da MVC na ordem das mais explicativas para as menos explicativas. Vicini (2005) afirma que outra possibilidade é a realização da análise de componentes principais a partir da matriz de correlação. A autora destaca, acerca da análise de componentes principais, que:

> A PCA é uma técnica matemática de análise multivariada que permite investigações com um grande número de dados disponíveis. Possibilita também a identificação das medidas responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, sem perdas significativas de informações. Além disto transforma um conjunto original de variáveis em outro conjunto: os componentes principais (CP) de dimensões equivalentes....eliminando variáveis originais que possuam pouca informação. Esta redução só será possível se as p variáveis não forem independentes e possuírem coeficientes de correlação não-nulos. (VICINI, 2005, p.21)

De acordo com Prado et al. (2002), existem duas características nas componentes principais que as tornam mais efetivas do que a observação direta das variáveis originais para a análise de um conjunto das amostras: a) as variáveis podem guardar entre si correlações que são suprimidas nas componentes principais, ou seja, as componentes principais são ortogonais entre si e cada componente principal traz uma informação estatística diferente das outras; b) as variáveis originais têm a mesma importância estatística, enquanto que as componentes principais têm importância estatística decrescente, decorrentes do processo matemático-estatístico de geração de cada componente que maximiza a informação estatística para cada uma das coordenadas que estão sendo criadas.

Os autores destacam ainda que, destas características, podemos compreender que as componentes principais podem: a) ser analisadas separadamente devido à ortogonalidade, servindo para interpretar o peso das variáveis originais na combinação das componentes principais mais importantes b) servir para visualizar o conjunto da amostra apenas pelo gráfico das três primeiras componentes principais que detêm maior parte da informação estatística (PRADO et al., 2002).

A partir das componentes principais pode-se executar a regressão linear múltipla, uma técnica cuja principal finalidade é obter a relação matemática entre uma variável dependente e o restante das variáveis que descrevem o sistema, ditas independentes. A principal aplicação deste método é produzir um modelo para a variável dependente na predição de resultados (FONSECA; MARTINS, 1996).

Neter et al. (1985, p.23) afirmam que: “A análise através de modelos de regressão é utilizada como uma ferramenta estatística que procura encontrar a relação existente entre duas ou mais variáveis de forma que uma variável possa ser calculada a partir de uma outra ou outras". O desenvolvimento destes modelos requer a adoção de métodos de regressão estatísticos, afirma Fernandes (2002). O autor destaca:

> Na construção de modelos de regressão em situações práticas de interesse, apenas um número reduzido de variáveis independentes ou preditoras pode (ou deve) ser usado. Um problema central, portanto, é a seleção de um “melhor” conjunto de variáveis independentes a serem usadas num modelo de regressão. Um fator preponderante na escolha de uma variável independente a ser incluída no modelo é considerar a contribuição na redução da variação remanescente em Y, quando outras variáveis independentes, tentativamente já foram incluídas no modelo. (FERNANDES, 2002, p.12)

Visando aprimorar a interpretação de imagens digitais e criar parâmetros padrões em um espaço linear para efetuar interpretações posteriores, a análise dos dados realizada deve evoluir para a construção de modelos estatísticos (FERNANDES, 2002). O autor destaca que uma destas ferramentas utilizada nos modelos estatísticos é a análise por meio de regressão.

Os modelos de regressão também podem apresentar teoricamente um número ilimitado de variáveis independentes. Na prática, se procura trabalhar com um número de variáveis independentes que se consigam representar de forma satisfatória o sistema desejado. O termo regressão é usado para designar a expressão de uma variável dependente em função de outra considerada independente (BERTOLO, 2004). Diz-se, segundo o autor que é a regressão de Y sobre X.

A seleção das variáveis é extremamente importante para a construção de um modelo (NETER et al., 1985). De acordo com estes autores:

> Um sistema real deve ser reduzido a proporções possíveis de estudos sempre que construímos um modelo, somente um limitado número de variáveis independentes ou variáveis possíveis de predição podem ou deveriam ser incluídas em um modelo de regressão para qualquer uma situação de interesse. A questão é então, escolher para o modelo de regressão um conjunto de variáveis independentes que sejam as mais adequadas para a análise específica que desejamos fazer. (NETER et al., 1985 p.29).

Fernandes (2002) ressalta que um modelo de regressão é um meio formal de expressar as características de uma relação estatística. O autor enfatiza que:

> O modelo expressa as duas características essenciais de uma relação estatística: a) a tendência da variável dependente Y variar com a variável ou variáveis independentes; b) a dispersão das observações em torno da curva de relacionamento estatístico entre as variáveis. Estas duas características são incorporadas num modelo de regressão postulando-se que: 1) Na população de observações associadas com o processo amostrado há uma distribuição de probabilidade de Y para cada nível de X; 2) As médias dessas distribuições de probabilidade variam de uma maneira sistemática com X. (FERNANDES, 2002, p.10)

Monteiro (2006) afirma que os modelos de regressão são largamente utilizados em todas as áreas do conhecimento, tais como: computação, administração, engenharias, biologia, agronomia, saúde, sociologia, etc. O autor descreve:

> Os modelos de regressão usam variáveis contínuas ou discretas como sendo as de interesse ou objetivo (target). O principal objetivo dos modelos de regressão é modelar o relacionamento entre diversas variáveis preditoras e uma variável resposta. Este relacionamento pode ser por uma equação linear ou uma função não linear. (MONTEIRO, 2006, p.26)

Quando a relação funcional entre elas é expressa por uma equação de primeiro grau, sua representação geométrica será uma linha reta e a regressão é dita linear (BERTOLO, 2004). Esta regressão pode ser simples ou múltipla. Uma regressão simples é uma extensão do conceito correlação/covariância. A regressão busca ajustar uma linha reta através dos pontos de tal modo que minimize a soma dos desvios quadrados dos pontos da linha. O autor acrescenta:

> Os parâmetros da regressão são sempre estimados com algum ruído, parcialmente porque o dado é medido com erro e parcialmente porque os estimamos de amostra de dados. Este ruído é capturado numa dupla de estatísticas. Um é o R-quadrado da regressão, que mede a proporção da variabilidade em Y que é explicada por X. É uma função direta da correlação entre as variáveis – Um valor de R-quadrado muito próximo de um indica uma forte relação entre as duas variáveis, apesar da relação poder ser positiva ou negativa. Uma outra medida do ruído numa regressão é o erro padrão, que mede o "espalhamento" ao redor de cada um dos dois parâmetros estimados - a intercepção e a inclinação. Cada parâmetro tem um erro padrão associado, que é calculado dos dados (BERTOLO, 2004).

Os objetivos principais da aplicação dos métodos estatísticos de regressão, de acordo com Schneider (1997) são basicamente: encontrar uma função dependente e uma ou mais variáveis independentes e testar a relação entre a variável dependente e as independentes. De acordo com o autor, a relação matemática do modelo linear geral de regressão é expressa pela seguinte equação:

$$Y = \beta 0 + \beta 1 \,.\, X1 + \beta 2 \,.\, X2 + \beta 3 \,.\, X3 \ldots + \beta n \,.\, Xn + \varepsilon i;$$

Sendo:

Y é a variável dependente;

$\beta 0$ é o coeficiente de interceptação (ou interseção);

$\beta 1$, $\beta 2$, $\beta 3$ ... βn são os coeficientes de regressão (parâmetros);

X1, X2, X3 ... Xn são as variáveis preditoras (independentes); e

εi é o erro residual (diferença entre a variável dependente observada e a estimada).

Bertolo (2004) sugere que se pense na linha de regressão como a média da relação entre a variável independente e a variável dependente. O resíduo representa a distância de quanto um valor observado da variável dependente está longe da relação média como descrito pela linha de regressão. Na regressão múltipla, as variáveis independentes podem estar correlacionadas umas com as outras resultando em estimativas menos confiáveis. O autor orienta que uma forma de verificar a variação da variável dependente em relação ao conjunto de variáveis independentes é com a execução de uma análise de variância (ANOVA).

A metodologia de análise da variância desenvolvida por Fisher, é um teste estatístico amplamente difundido entre os analistas e visa fundamentalmente verificar se existe uma diferença significativa entre as médias e se os fatores exercem influência em alguma variável dependente (SCHNEIDER, 1997).

Milone; Angelini (1995) consideram a análise de regressão e de variância métodos que permitem descrever a relação entre as variáveis dependentes e independentes do modelo. Os autores destacam que:

> Regressão e correlação são técnicas estatísticas que se baseiam nos conceitos de amostragem para saber se e como duas ou mais variáveis estatísticas de uma mesma população ou não, estão relacionadas umas com as outras. É o relacionamento entre duas ou mais variáveis, expresso em uma forma matemática, determinada por meio de uma equação, para identificar se há relação entre elas, e medir qual o grau dessa relação, se fraca ou forte. Existindo a relação é preciso estabelecer um modelo que interprete a relação funcional entre as variáveis e que o modelo construído seja utilizado para fins de predição. (MILONE; ANGELINI, 1995, p.84)

Quando trata-se de estatística multivariada, a análise de variância é utilizada na formulação de um teste estatístico para comparar vetores de médias que dependem da partição do total da variância, alocada em: variância devido ao efeito de tratamentos e variância devido ao erro. Esta partição da variância total é denominada análise de variância multivariada, segundo Johnson; Wichern (1999, apud VICINI, 2005).

A principal aplicação da ANOVA segundo Fonseca; Martins (1996) é a comparação de médias oriundas de diferentes grupos, os denominados tratamentos,

com a finalidade de verificar se estas produzem mudanças sistemáticas em alguma variável de interesse. O objetivo final da análise é o cálculo da estatística F. A estatística F é uma medida que explica o quanto oscilará a variável dependente conforme varia o conjunto das variáveis independentes, tratando estas como um grupo único. Os autores enfatizam que para aplicar a ANOVA deve-se observar que:

> Há três suposições básicas que devem ser satisfeitas para que se possa aplicar a análise da variância: 1) as amostras devem ser aleatórias e independentes; 2) as amostras devem ser extraídas de populações normais; 3) as populações devem ter variâncias iguais. (FONSECA; MARTINS,1996, p.253).

Todavia Gujarati (2000) afirma que ao testar a significância global de uma regressão se está observando a relação linear entre a variável dependente e o conjunto de variáveis independentes. Portanto, alerta o autor:

> ... testar uma série de hipóteses em particular não equivale a testar essas mesmas hipóteses conjuntamente. A razão intuitiva disto é que, em um teste conjunto de diversas hipóteses, qualquer hipótese individual é afetada pela informação em outras hipóteses. (GUJARATI, 2000, p.237)

Com isso, para um conjunto de variáveis pode-se obter um único intervalo de confiança ou ainda somente um teste de significância. Esta hipótese conjunta pode ser testada, por meio da técnica da análise de variância (GUJARATI, 2000).

A ANOVA pode ser apresentada em forma de tabela, o que facilita sua interpretação. O corpo de cada tabela pode variar dependendo de cada autor, mas se assemelham na distribuição dos dados. O modelo básico é citado por Fonseca; Martins (1996) e está representado neste trabalho pela Tabela 2.

TABELA 2 – Equações de Análise de Variância (ANOVA).

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Teste F
Entre tratamentos	Q_e	$K-1$	$S_e^2 = \frac{Q_e}{K-1}$	$F_{Cal} = \frac{S_e^2}{S_r^2}$
Dentro das amostras (Residual)	$Q_r = Q_t - Q_e$	$n-K$	$S_r^2 = \frac{Q_t - Q_e}{n-K}$	
Total	Q_t	$n-1$		

Fonte: Livro “Curso de Estatística” (Fonseca; Martins, 1996, p.260).

As equações da tabela de ANOVA são assim identificadas:

$Q_t = Q_e + Q_r$ - mede a variação geral de todas as observações;

Q_t - é a soma dos quadrados totais;

Q_e - soma dos quadrados dos grupos (tratamentos), associada exclusivamente a um efeito dos grupos;

Q_r - soma dos quadrados dos resíduos, devidos exclusivamente ao erro aleatório, medida dentro dos grupos;

S_e^2 - Média quadrada entre os grupos;

S_r^2 - Média quadrada dos resíduos dentro dos grupos;

Q_e e S_e^2 - medem a variação total entre as médias;

Q_r e S_r^2 - medem a variação das observações de cada grupo;

F_{cal} – coeficiente calculado do teste estatístico F (Fischer e Snedcor).

Observadas as estatísticas R^2 e as estimativas dos parâmetros do modelo, pode-se observar os resultados da análise de variância, destaca Gujarati (2000). O autor explica que se trata de um modelo linear que compara o modelo de regressão adotado com o erro ou resíduo existente nos dados empíricos. A ANOVA, segundo o autor, calcula uma série de estatísticas para cada um dos dois tratamentos, ou seja, o tratamento regressão e o tratamento erro.

De acordo com Fonseca; Martins (1996) o valor de F calculado (F_{cal}) é comparado, na análise, com o valor de F tabelado (F_{tab}), conforme a distribuição de Fisher – Snedecor, considerando-se os graus de liberdade do numerador (K – 1) e

do denominador (n – K) fixados a certo nível de significância. Segundo os autores, a hipótese nula sempre será rejeitada quando F calculado for maior que o valor de F tabelado. Da mesma forma, se S_e^2 for maior que S_r^2, rejeita-se a hipótese nula.

Existem vários métodos de análise multivariada, todos com finalidades específicas e modelos diversificados entre si. Assim, conforme Silva; Menezes (2001), deve-se ter claro o objetivo da pesquisa e estar focado no conhecimento que se pretende gerar para delinear o trabalho de pesquisa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia apresentada neste trabalho pode ser classificada como: aplicada, qualitativa, descritiva, experimental e de observações sistemáticas, de acordo com conceituações apresentadas por Silva; Menezes (2001). Segundo os autores, quanto à natureza a pesquisa é classificada como aplicada quando gera conhecimentos para aplicações práticas. A abordagem qualitativa é constatada ao se apresentar à relação dinâmica entre o mundo real e os alvos amostrados. Quanto ao objetivo é descritiva, pois busca descrever as características de determinada população e as relações entre variáveis. Quanto aos procedimentos técnicos a pesquisa é experimental com amostras intencionais e observações sistemáticas, pois as variáveis selecionadas são planejadas e controladas para responder aos propósitos e são capazes de influenciar o objeto de estudo.

3.1 Caracterização da área de estudos

A pesquisa visando a caracterização de alvos urbanos foi desenvolvida em um cenário que sofre contínuas alterações devido a ação humana, conseqüência do desenvolvimento da região. O sensoriamento e a coleta de amostras espectroradiométricas foram realizados em uma área onde os alvos propostos integram a paisagem urbana, possibilitando o estabelecimento de parâmetros na seleção de objetos do espaço urbano. Para a pesquisa foi selecionada uma área retangular com dimensões de 4 (quatro) km de extensão por 2 (dois) km de largura onde foi efetuado o levantamento com sensor multiespectral e o trabalho de campo com a leitura e localização dos 21 (vinte e um) alvos pré-selecionados.

O sensoriamento foi executado com a aeronave R-99B da Força Aérea Brasileira (FAB). Os vôos ocorreram a uma altura de 1.300 metros (4.000 pés), em uma faixa única no sentido “N/S”. A área do trabalho está contida em um polígono retangular formado pelas coordenadas 29° 41’ 38,85” S / 53° 43' 29,25” W (canto superior esquerdo) e 29° 43' 50,20” S / 53° 42' 18, 36” W (canto inferior direito), conforme a Figura 6.

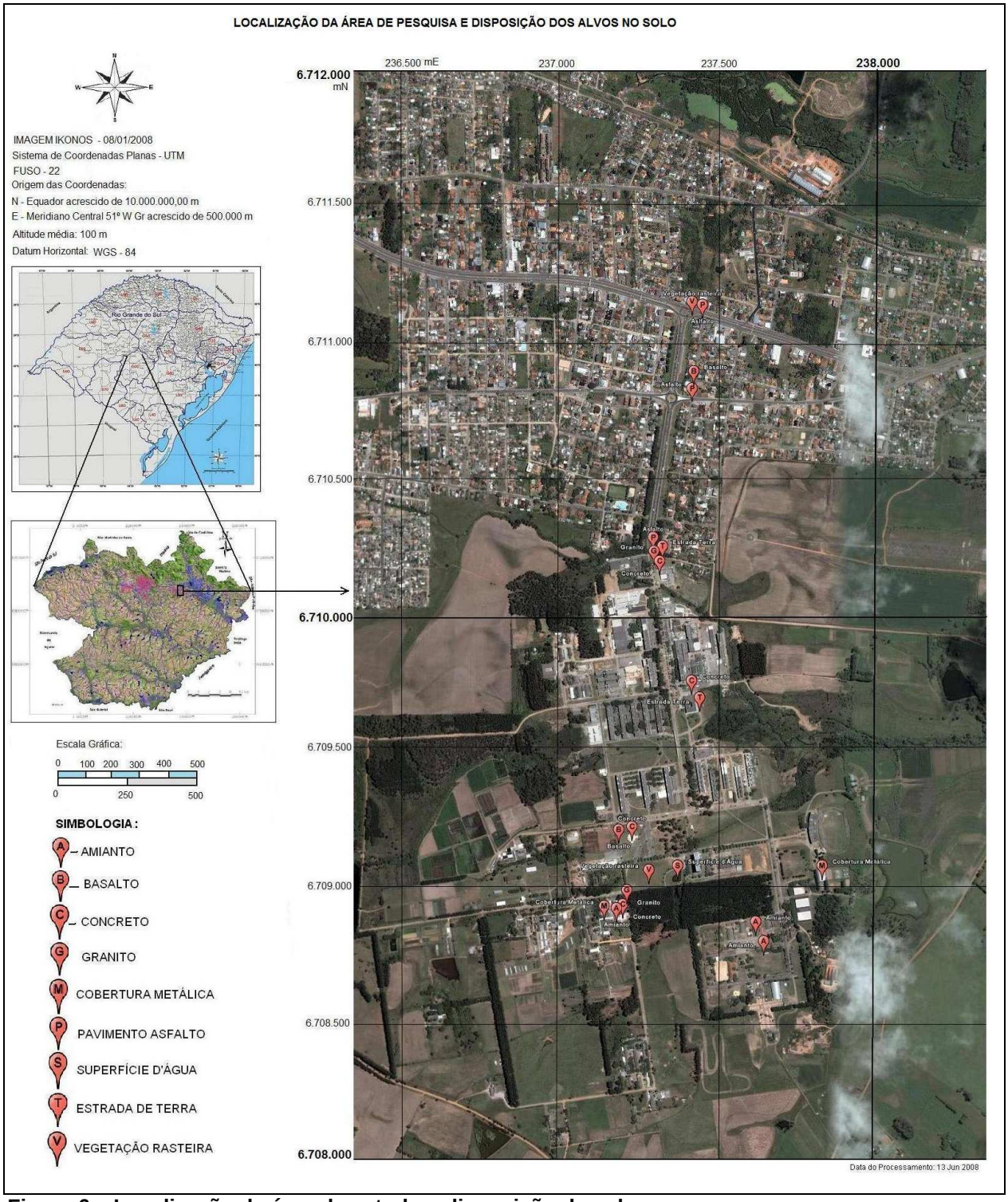

Figura 6 – Localização da área de estudo e disposição dos alvos

A imagem apresenta a área da pesquisa, destacando a disposição dos alvos na superfície e o material que os constituem, conforme descrito em legenda. A área imageada localiza-se no setor leste da cidade de Santa Maria, município situado no centro geográfico do Estado do Rio Grande do Sul, em uma região de transição entre a Depressão Central Sul-Riograndense e o Planalto Meridional Brasileiro. A faixa sensoriada abrange uma área onde se encontram o campus da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e um segmento do Bairro Camobi.

Os alvos foram pré-selecionados na imagem da Figura 6, segundo o material que os constituem. A seleção foi efetuada pela disposição destes no terreno, de forma a acompanhar o eixo central do imageamento, possibilitando uma pesquisa de campo coincidente com o momento da realização do sensoriamento embarcado. A posição de cada alvo foi obtida com utilização de aparelho receptor GPS durante a pesquisa de campo e encontram-se demarcados na Figura 6, sendo identificados pela letra ao centro do símbolo. Para melhor compreensão e identificação os alvos foram identificados conforme descrito no Quadro 1.

Letra de identificação	Tipo de alvo/objeto	Nº de Alvos
A	AMIANTO / COBERTURAS E TELHADOS	3
B	BASALTO / PAVIMENTOS DE RUAS	2
C	CONCRETO / ESTRUTURAS E PAVIMENTOS	4
G	GRANITO / PAVIMENTOS DE RUAS	2
M	METÁLICO / COBERTURAS E TELHADOS	2
P	ASFALTO / PAVIMENTOS DE AV. E RODOVIAS	3
S	ÁGUA / SUPERFÍCIES DE LAGOS	1
T	TERRA / ESTRADAS SEM PAVIMENTO	2
V	GRAMADO / VEGETAÇÃO RASTEIRA	2

Quadro 1 – Características dos alvos propostos na pesquisa

Os alvos, objeto desta pesquisa, foram fotografados como forma de ilustrar o trabalho e para detalhar os materiais que os constituem. As imagens da Figura 7 identificam alguns dos alvos amostrados e o material. As letras entre parênteses estão em conformidade com a legenda apresentada no Quadro 1.

Superfície d'água (S), lago da Reitoria

Estrada de terra (T), fundos da biblioteca

Estrutura concreto (C), politécnico, planetário e estacionamento da biblioteca

Cobertura metálica (M), Centro de Educação Física

Pavimento granito (G), arco da UFSM

Pavimento Basalto (B), frente ao CCSH

Asfalto (P) e gramado (V), rótula faixa velha

Coberturas amianto (A), Pq.Exposições

Figura 7 – Imagens de alvos amostrados

De acordo com o material que constitui os alvos, estes foram agrupados em: estruturas de concreto, coberturas metálicas, coberturas de amianto, vegetação rasteira cultivada (gramados), pavimentos de asfalto, pavimentos de basalto, pavimentos de granito, estradas não pavimentadas e superfícies d'água (açudes e lagos).

3.2 Material

3.2.1 Aquisição dos Dados

A fase de aquisição dos dados está relacionada com os processos de seleção e localização dos alvos, bem como a detecção e o registro das informações. Para a interpretação e caracterização dos alvos em área urbana foram selecionados alguns objetos peculiares as regiões habitadas e que sofrem continuadas transformações pelo homem, elementos que compõem a paisagem urbana.

A espectroscopia por imageamento foi realizada com um sensor aerotransportado e permitiu a obtenção de imagens multiespectrais da superfície em intervalos contínuos e com alta amostragem. A coleta de amostras no solo foi executada por meio da leitura espectroradiométrica. A amostragem foi efetuada durante o dia e em 03 (três) horários diferentes. Os vôos e saídas a campo foram simultaneamente executados as 12:00HBV e 16:00HBV do dia 17 de dezembro de 2007 e as 09:00HBV do dia 27 de dezembro de 2007.

3.2.1.1 Material de solo

O equipamento utilizado na pesquisa de campo, para a obtenção de medidas de reflectância dos alvos foi o Espectroradiometro FieldSpec Pro FR. Este equipamento é fabricado pela Analytical Spectral Devices e possui as seguintes caracterísicas:

- FOV (Field Of View) de 25º, com intervalo espectral de 350nm a 2.500 nm;

- Resolução espectral de 10 nm, coletando até 10 espectros por segundo;

- Unidade detectora (pistola de mão) com cabo de fibra óptica de 1,2m;

- Três sensores: uma malha de fotodiodo de 512 elementos e dois sensores resfriados termoeletricamente (fotodiodos InGaAs);

- Medições de radiância dos alvos e irradiância solar.

Para uma eficaz operação, o espectroradiometro possui os seguintes acessórios:

- Um computador notebook IBM Think Pad, dotado do software RS^3 16052 1 para a coleta das amostras;

- Baterias intercambiáveis próprias para o equipamento;

- Placa de referência (Spectralon).

A interface de comunicação do espectroradiômetro com o computador ocorre por meio de uma porta paralela bidirecional wireless. Uma forma de operação pode ser observada na Figura 8. O equipamento pode ser operado por uma única pessoa.

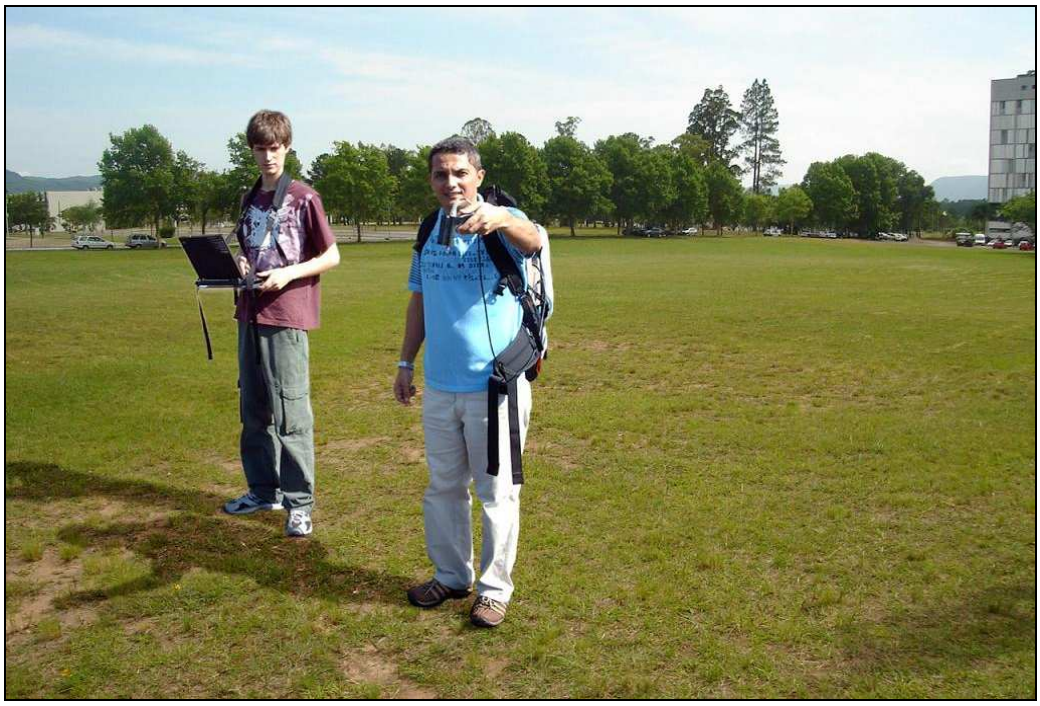

Figura 8 – Coleta de dados com o espectroradiômetro FieldSpec Pro FR

No trabalho de campo também foi observada a localização dos alvos pela extração das coordenadas geográficas dos mesmos e obtenção de imagens panorâmicas para exemplificação e facilidade de compreensão da pesquisa. Nesta atividade utilizou-se os seguintes equipamentos:

- Um receptor GPS Eagle Explorer para o georreferenciamento dos alvos;

- Uma câmara digital Sony DSC W-30 para a obtenção de imagens.

3.2.1.2 Material embarcado

A área proposta na pesquisa foi sensoriada com a utilização do Sistema de Varredura Multiespectral EPS-A 31T, fabricado pela GER (Geophysical Environmental Research). É um sistema MSS (Multispectral Scanner System) baseado em

componentes modulares e foi projetado para ser um imageador aerotransportado. De acordo com o Manual do fabricante (www.ger.com), o conjunto é constituído de um scanner para aquisição de imagens aéreas denominado de unidade sensora. Para a operação desta unidade há um console optrônico, um monitor e um teclado trackball.

O MSS escaneou o terreno na direção Norte/Sul, captando a radiação do cenário em 31 (trinta e um) canais espectrais, conforme intervalos apresentados na Tabela 1, com resolução espacial de 2,7m. O MSS pode também sensoriar utilizando 11 canais, oferecendo uma resolução espacial de 1,4m, mantida a altura de vôo. Estes equipamentos estão instalados e operam na aeronave R-99B conforme apresentado na Figura 9, operado pela FAB (Força Aérea Brasileira). O vôo foi executado com a aeronave estabilizada a uma altura de 1.300m de altura.

Figura 9 – Aeronave R-99B: localização do MSS e console interno
Fonte: Kaufmann, G. (2007). Adaptado pelo autor.

Para esta pesquisa foi utilizado o sistema com 31 canais por resultar em uma alta resolução espectral. A opção pelo maior número de canais se deu para atender ao objetivo do trabalho que é a caracterização de alvos urbanos em imagens multiespectrais, por meio de análise estatística multivariada, apoiado por espectroradiometria. Assim, um maior número de canais possibilitou um maior fatiamento do espectro e um menor intervalo de comprimento de onda em cada canal. Isto resultou em uma melhor análise dos intervalos pelo refino dos valores digitais.

Dos 31 canais disponibilizados pelo sensor MSS, somente 30 (trinta) foram utilizados neste trabalho, correspondendo a valores espectrais entre 0,42µm a 2,35µm, intervalo que compreende o visível, infravermelho próximo e médio. O último canal do sensor foi subtraído desta pesquisa por encontrar-se no intervalo espectral sensível a radiação emitida (infravermelho termal), pois disponibiliza o canal com comprimento entre 8,5µm e 12,5µm, intervalo em que não existem dados comparativos no espectroradiômetro utilizado no solo.

3.3 Metodologia

3.3.1 Processamento e utilização dos dados

O emprego operacional de sensores está condicionado a parâmetros técnicos normalmente definidos na especificação do equipamento e intrínsecos ao aparelho. Estes parâmetros são fundamentais para a calibração e utilização dos sensores em qualquer etapa do sensoriamento. Desta forma, para a caracterização dos alvos por meio de imagens MSS foi necessário que se estabelecesse alguns parâmetros de comparação para a determinação de padrões da leitura digital do sensor. Para tanto, a pesquisa foi desmembrada em duas etapas que ocorreram de forma sincronizada: a execução do sensoriamento para obtenção da imagem com sensor MSS (31 canais) e a leitura da reflectância dos alvos no solo com o espectroradiômetro. Encerrada esta etapa, os dados foram tratados, convertidos e agrupados, possibilitando algumas análises e comparações.

3.3.1.1 Dados do MSS

A execução dos vôos e a pesquisa de campo ocorreram de maneira simultânea. Durante a execução dos vôos os valores digitais foram gravados no console optrônico de operação do sensor. Neste equipamento estes dados foram comprimidos e armazenados em fitas 8mm Exabyte Mammoth 8900. Após o pouso ocorreu a conversão e o tratamento dos dados por meio do software ENVI 4.2®, possibilitando a leitura, conversão e manipulação das informações. A imagem resultante possui resolução radiométrica de 16 bits, gerando dados digitais na ordem de 65.536 tons de cinza, o que significa uma ampla gama de valores de pixels, representando uma melhor qualidade de imageamento e a maior possibilidade de distinção entre objetos com pouca variabilidade de tonalidades.

Os dados gerados nos três horários propostos (12:00HBV, 16:00HBV e 09:00HBV) foram extraídos do sistema e gravados em formato digital para DVD. A transformação dos valores digitais com extensão “bin” em imagem com o formato “img” foi realizada no software ERDAS 8.7® e possibilitou a visualização e a amostragem dos alvos propostos. Os dados foram carregados e obteve-se uma imagem com 31 layers (camadas) em tons de cinza. A partir desta ação, tornou-se possível efetuar composições em cores (R-G-B), selecionando qualquer conjunto de três canais e associando-os as bandas espectrais nos canais vermelho, verde e azul, conforme o resultado desejado. Foi possível também realçar algumas propriedades dos alvos, como: cor, tonalidade, brilho. Contudo, buscava-se encontrar estatisticamente uma composição para melhor distinguir os alvos, encontrando caracterísicas que os diferenciassem entre si.

Para atender ao objetivo do trabalho, em cada alvo já descrito anteriormente, foram coletados os níveis digitais de 6 (seis) pixels em cada um dos 3 (três) sensoriamentos realizados. Estes valores foram obtidos com a utilização do software ERDAS 8.7® através da localização visual dos alvos sobre as imagens advindas do MSS e os valores de leitura foram transferidos para planilhas no software Microsoft Excel 2003®. Após esta seleção foi efetuado o cálculo da média do valor dos pixels

para cada alvo, nos 30 (trinta) canais do MSS. Na organização dos dados coletados, estas médias foram transferidas para 03 (três) novas planilhas de ordem 21 X 30. As 21 (vinte e uma) linhas correspondem a média dos níveis digitais para cada um dos alvos trabalhados e as 30 (trinta) colunas representam os canais ópticos de reflectância obtidos pelo sensor MSS, conforme apresentados nas Figuras 6 e 7.

3.3.1.2 Dados do Espectroradiometro

A pesquisa de campo concentrou-se na obtenção da leitura de reflectância dos alvos terrestres previamente selecionados, com a utilização do espectroradiometro FieldSpec Pro FR. Esta pesquisa foi executada de forma sincronizada com a realização dos vôos, obtendo-se valores digitais para análise e caracterização dos alvos selecionados. Para o processamento destas informações foi utilizado o aplicativo ASD View Spec Pro Versão 4.05®, o qual possibilitou a conversão da leitura efetuada pelo sensor em valores numéricos para interpretação. Realizada a transformação dos dados, os valores numéricos foram importados para planilhas do aplicativo Microsoft Excel 2003®. As operações realizadas foram semelhantes às efetuadas para a preparação dos dados do MSS e deram origem a 3 (três) planilhas constituídas por 2.150 (duas mil cento e cinqüenta) linhas correspondentes a leitura de reflectância pelo espectroradiômetro que abrange o intervalo entre 0,35 µm até 2,5 µm (com resolução espectral de 0,01 µm) e 21 (vinte e uma) colunas relacionadas a cada um dos alvos propostos.

Para viabilizar a análise estatística, os valores de leitura do espectroradiometro que compunham as planilhas foram agrupados em intervalos correspondentes aos canais do sensor MSS. Com a obtenção da média destes intervalos originaram-se três matrizes de dados de ordem 30x21, formato semelhante às geradas com os valores processados na extração de amostras do sensor MSS embarcado.

Cumpridas as seqüências descritas, obteve-se dados para realizar a comparação entre os valores digitais obtidos nas imagens MSS e os valores digitais obtidos em solo com o espectroradiômetro.

3.3.2 Estatística dos dados

Realizada a leitura dos valores digitais e preparadas as planilhas de dados, passou-se a executar a análise estatística. Esta etapa foi executada com a utilização do software R 2.7©. A partir desta etapa passou-se a trabalhar unicamente com as 3 (três) matrizes de dados oriundas do sensoriamento com o MSS.

Ao se carregar os dados no referido software observou-se a necessidade da transposição dos dados das matrizes. Isto se fez necessário para a execução da análise estatística, pois se objetivou, naquele momento, encontrar os intervalos espectrais que melhor distinguissem os alvos propostos de acordo com os matérias que os constituem. As três matrizes de dados do MSS foram transpostas, assumindo o formato 21X30.

Devido ao grande número de dados e a variabilidade entre os objetos pesquisados, optou-se por realizar a análise empregando-se a estatística multivariada, por adaptar-se melhor a esta situação.

A partir de então foi realizada a redução de dados a partir de combinações lineares das variáveis, procurando-se preservar as informações destas. Para tanto utilizou-se a Análise das Componentes Principais (PCA). Com a obtenção das principais componentes, obtidas das matrizes de dados do MSS buscou-se construir um modelo para relacioná-las com as leituras realizadas com o espectroradiômetro. Para tanto, partiu-se para a execução de uma regressão linear.

3.3.2.1 Análise de Componentes Principais

Com as matrizes preparadas no Microsoft Excel 2003® foi efetuado o carregamento das mesmas em três pastas distintas no software estatístico R 2.7©. Para simplificar a descrição dos passos adotados e facilitar a compreensão, estas pastas assumiram as denominações MSS1 (vôo das 12:00HBV de 17/12/2007), MSS2 e (vôo das 16:00 HBV de 17/12/2007) e MSS3 (vôo das 09:00 HBV de 27/12/2007).

Passou-se para o processamento da análise estatística efetuando-se 2 (duas) operações: matriz de variância e covariância (MVC) e matriz de correlação (MC) entre amostras. Cada matriz de variância e covariância foi gerada na ordem de 30x30. Já as matrizes de correlação foram utilizadas para verificar o grau de relação linear entre as variáveis quantitativas. Concluídas e analisadas as matrizes MVC e MC, foram efetuadas as operações para obtenção dos autovalores e autovetores.

Os valores distribuídos nas matrizes de dados foram agrupados por médias e os dados obtidos foram emparelhados. Foi efetuada então, a partir da MVC, a operação de obtenção dos autovalores e autovetores e a análise de componentes principais (PCA) em cada uma das matrizes. A finalidade da extração das principais componentes foi obter um pequeno número de combinações lineares do conjunto de variáveis, as quais retinham o máximo possível de informações contidas nas variáveis originais. Os valores oriundos destas operações possibilitaram o isolamento de três principais componentes (três intervalos de comprimento de ondas) em que é possível observar um maior peso no critério de discriminação dos alvos.

Com isso pode-se inferir que as três principais componentes apontariam para os três canais do sensor MSS que, carregados em um software de tratamento de imagens e associados aos canais de cores em uma composição RGB, gerariam uma imagem suficientemente contrastada que possibilitava distinguir os alvos selecionados na pesquisa. Para variáveis explicativas muito correlacionadas, o método de componentes principais apresentou-se como uma boa alternativa. As componentes principais permitem que o efeito individual de cada variável seja melhor quantificado.

A razão de se haver adotado medidas de dispersão (medidas de variância e covariância, correlação e análise de componentes principais) ao invés das medidas de localização (média, mediana, moda) para a análise estatística se deve ao fato de, as primeiras fornecerem uma combinação linear com pesos diferenciados, ideal quando se tem variáveis com alto índice de correlação. Já as medidas de localização fornecem peso a todas as variáveis, sendo usadas com variáveis de baixo índice de correlação.

O processo estatístico descrito foi aplicado as matrizes de dados geradas nos 3 (três) sensoriamentos realizados. Contudo, ao se efetuar a análise estatística de componentes principais com a MVC do sensoriamento realizado as 09:00 HBV do dia 27 de dezembro de 2007, foi verificado que os resultados não possibilitavam a discriminação entre os alvos e que havia muita semelhança entre os autovetores das variáveis. A MC apontou para uma extrema correlação entre as variáveis, com muitos índices iguais a 1 (um). Este fato impossibilitou a seleção das componentes principais. Tal ocorrência pode ser atribuída a dois fatores: a) pane de software ou hardware na gravação ou conversão dos dados que incorreu na semelhança entre os valores digitais dos pixels; b) o horário de execução do sensoriamento (09:00 HBV) impossibilitou a reflectância adequada devido a geometria de irradiação solar, ocasionando ausência de contraste na cena, impedindo a discriminação dos dados na leitura digital.

Com isso, ao final do tratamento estatístico com componentes principais, optou-se por prosseguir a análise com apenas duas matrizes de dados. As matrizes obtidas no sensoriamento realizado as 12:00 HBV e 16:00 HBV do dia 17 de dezembro de 2007 se adequaram ao proposto. Estas matrizes de dados são apresentadas no Apêndice A deste trabalho, já os resultados do processamento estatístico destas matrizes até então executados, são apresentados no Apêndice B.

A utilização das componentes principais justifica-se também pelas características que encerra, tornando-se muito efetiva para a avaliação das variáveis originais que maior peso exerce sobre um conjunto de amostras. Assim, pode-se adotar as primeiras componentes principais e considerá-las tão mais importantes que as demais, visto que as principais componentes tem importância decrescente e guardam informações de todas as variáveis originais.

Este critério será utilizado nas variáveis explicativas do modelo de regressão, onde estas variáveis são relacionadas as componentes principais. A análise de regressão, efetuada a partir das principais componentes, tem como principal vantagem possibilitar a utilização de um reduzido número de variáveis, as quais contêm informações da variabilidade de todos os dados originais.

3.3.2.2 Regressão Linear

A regressão linear é um método para se estimar o valor esperado de uma variável dependente, dados os valores de algumas outras variáveis independentes. A estatística de regressão desenvolvida neste trabalho objetivou a verificação da influência do conjunto de variáveis independentes (as três bandas espectrais do sensor MSS selecionadas pelo processo de componentes principais) sobre a variável dependente (valores da leitura efetuada com o espectroradiômetro nos intervalos espectrais correspondentes). As matrizes de regressão podem ser visualizadas no Apêndice C.

Como referenciado anteriormente, os modelos de regressão são largamente utilizados em muitas áreas do conhecimento. Neste trabalho a regressão foi utilizada para modelar o relacionamento entre três variáveis preditoras e uma variável resposta. Esta relação pode ser representada pela equação linear a seguir:

$$Y = \beta 0 + \beta 1 \,.\, X1 + \beta 2 \,.\, X2 + \beta 3 \,.\, X3 + \varepsilon i$$

onde:

Y - variável dependente (valores esperados de reflectância dos alvos);

$\beta 0$, $\beta 1$, $\beta 2$ e $\beta 3$ - coeficientes de regressão ajustados;

X1, X2, X3 – variáveis independentes (valores obtidos nas imagens MSS);

εi – valor residual inerente a operação de análise de regressão.

Os coeficientes utilizados para gerar um modelo de regressão são oriundos das operações executadas com cada uma das matrizes. Grande parte dos métodos

estatísticos pertence a área de modelos de regressão e são chamados de modelos preditivos. Eles são usados para predizer um valor numérico contínuo que está associado a um registro anteriormente gerado. Os resíduos, representados por “εi” devem apresentar linearidade, normalidade e variância constante.

3.3.2.3 Análise de Variância (ANOVA)

A estatística é um ramo da matemática que disponibiliza ferramentas fundamentais para a coleta, organização, resumo, apresentação, análise e interpretação dos dados amostrais nos métodos científicos. Permite, por meio de alguns métodos, obter conclusões a partir de dados observados. Entre estes métodos está a tabela de variância (tabela ANOVA) que apresenta um resumo das explicações da variabilidade da variável dependente em função das variações dentro dos tratamentos e entre estes. Para a execução da tabela ANOVA utiliza-se o teste F de Fisher – Snedecor, onde se efetua a comparação de médias oriundas de grupos diferentes para avaliar a influência do conjunto sobre as variáveis dependentes.

A comparação entre a resposta espectral dos alvos na leitura de reflectância foi efetuada tendo-se, de um lado um sensor colocado diretamente no solo com pequeno afastamento do alvo e, de outro, um sensor embarcado com afastamento considerável entre sensor e alvo. Para compreensão dos dados gerados, a relação entre os valores obtidos com a espectroradiometria de solo foram identificados como “espectroradiometro 7”, “espectroradiometro 3” e “espectroradiometro 30”, para melhor orientação nas tabelas de dados nos Apêndices C e F.

Assim, considerados alguns fatores significativos nesta comparação como a atenuação atmosférica, os diferentes ângulos de leitura da radiação e o tamanho dos pixels inerentes a cada sensor, foram executadas análises estatísticas para a melhor discriminação entre os alvos na interpretação de imagens digitais.

O tratamento estatístico possibilita o emparelhamento de dados ou a transformação de unidades, transforma valores gerados nas unidades métricas diversificadas em parâmetros passíveis de interpretação, possibilitando análises comparativas. Para a interpretação é criada uma tabela de variância semelhante a apresentada a seguir:

TABELA 3 – Modelo de Tabela de Análise de Variância (ANOVA)

Fontes de variação	Graus de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrados Médios	F calculado
Regressão Entre Tratamentos	k – 1 (k = nº de variáveis independentes)	Soma dos Quadrados do Tratamento ($SQ_{Tratamentos}$)	Quadrado Médio do Tratamento ($QMG=SQ_{Tratamentos}$ / k-1)	$F = \frac{QMG}{QMR}$
Erro (Residual) Dentro Tratamento	N – k (N = nº de observações)	Soma dos Quadrados dos resíduos ($SQ_{Resíduo}$)	Quadrado Médio do Resíduo ($QMR=SQ_{Resíduo}$ / n-k)	
Total	N - 1	Soma dos quadrados total(SQ_{Total})		

Fonte: Fonseca; Martins (1996), adaptado pelo autor.

Com a adoção da metodologia descrita, objetivou-se facilitar a discriminação entre os alvos sensoriados na superfície do solo quando se está realizando análise e fotointerpretação em imagens geradas pelo sensor multiespectral EPS-A 31T, apoiando-se, para isso, em dados gerados em pesquisa de campo por espectroradiometria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Em qualquer momento decisivo na vida adotam-se certos critérios para uma tomada de decisão. Porém, nem todos adotam comportamentos idênticos ou atribuem pesos com a mesma intensidade no momento de decidir. Por vezes adota-se um modelo de ação usando apenas a intuição, sem que se consiga identificar de forma sistemática quais os fatores têm maior influência sobre determinada decisão, ou seja, não se identificam quais variáveis afetaram diretamente algum resultado obtido. Ao analisar os acontecimentos mundiais, consegue-se compreender que todos os fatos envolvem um grande número de variáveis, sejam naturais ou decorrentes da ação humana. As diversas ciências criadas pelo homem têm a finalidade de conhecer e potencializar estes fatores. Esta análise é executada a partir da compreensão das variáveis que atuam sobre os agentes no transcorrer de cada evento.

Nesta pesquisa, aliou-se a dinâmica da obtenção de imagens com sensor MSS e leituras espectroradiométricas com o conhecimento teórico disponibilizado nas bibliografias de sensoriamento remoto e análise estatística. Os resultados obtidos poderiam, tão somente, ser fundamentados pelas abordagens teóricas de algumas publicações técnicas. No entanto, nem sempre as variáveis apresentam comportamento totalmente explicado pela teoria básica de interpretação de imagens. Neste instante recorre-se a métodos estatísticos para a avaliação e compreensão dos fenômenos apurados. Ao realizar a separação espectral dos alvos, inicialmente ocorreu uma similaridade entre alguns componentes estruturais, gerando confusão na visualização direta da imagem, não resultando em conclusões autênticas e seguras. Por se tratar de dados digitais, observou-se que a interpretação por meio de análise estatística asseguraria maior confiabilidade aos resultados esperados.

A leitura dos valores de pixels nos alvos propostos culminou com a confecção das planilhas de dados. Estas planilhas contemplaram os valores médios de

reflectância dos materiais que constituem os alvos. Assim, os valores obtidos em cada sensoriamento, foram ordenados conforme o intervalo de comprimento de onda que representavam e deram origem as matrizes de dados apresentadas no Apêndice A. A partir destas matrizes foi executada a análise estatística descrita no capítulo anterior, obtendo-se as três principais componentes para os dois sensoriamentos considerados, conforme descritos abaixo:

MSS1:

- 1ª Principal Componente: responde por 97,73% da variabilidade total das variáveis originais. Corresponde ao Canal 7 do sensor, intervalo espectral entre 0,60 µm e 0,63µm;

- 2ª Principal Componente: somada a anterior, respondem por 99,84% da variabilidade total das variáveis originais. Corresponde ao Canal 3 do sensor, intervalo espectral entre 0,48 µm e 0,52µm;

- 3ª Principal Componente: somada as anteriores, respondem por 99,947% da variabilidade total das variáveis originais. Corresponde ao Canal 30 do sensor, intervalo espectral entre 2,08 µm e 2,25µm;

MSS2:

- 1ª Principal Componente: responde por 94,16% da variabilidade total das variáveis originais. Corresponde ao Canal 7 do sensor, intervalo espectral entre 0,60 µm e 0,63µm;

- 2ª Principal Componente: somada a anterior, respondem por 99,82% da variabilidade total das variáveis originais. Corresponde ao Canal 3 do sensor, intervalo espectral entre 0,48 µm e 0,52µm;

- 3ª Principal Componente: somada as anteriores, respondem por 99,948% da variabilidade total das variáveis originais. Corresponde ao Canal 30 do sensor, intervalo espectral entre 2,08 µm e 2,25µm.

Com as planilhas geradas nos sensoriamentos foram confeccionados também os gráficos de reflectância para cada horário imageado. Os gráficos são apresentados nas Figuras 10 e 11 e trazem no eixo das abscissas os valores dos intervalos de comprimento de onda. No eixo das ordenadas encontram-se os valores médios dos pixels para cada intervalo de banda do sensor.

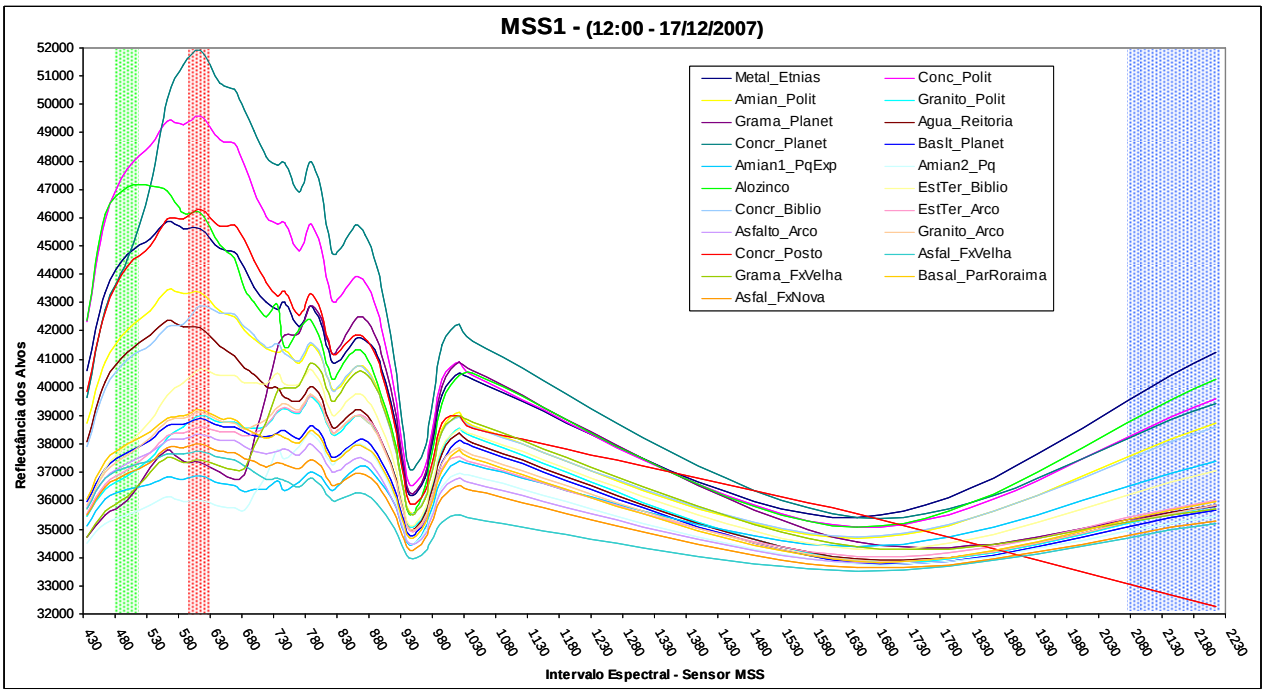

Figura 10 – Comportamento espectral dos alvos nas imagens do MSS1

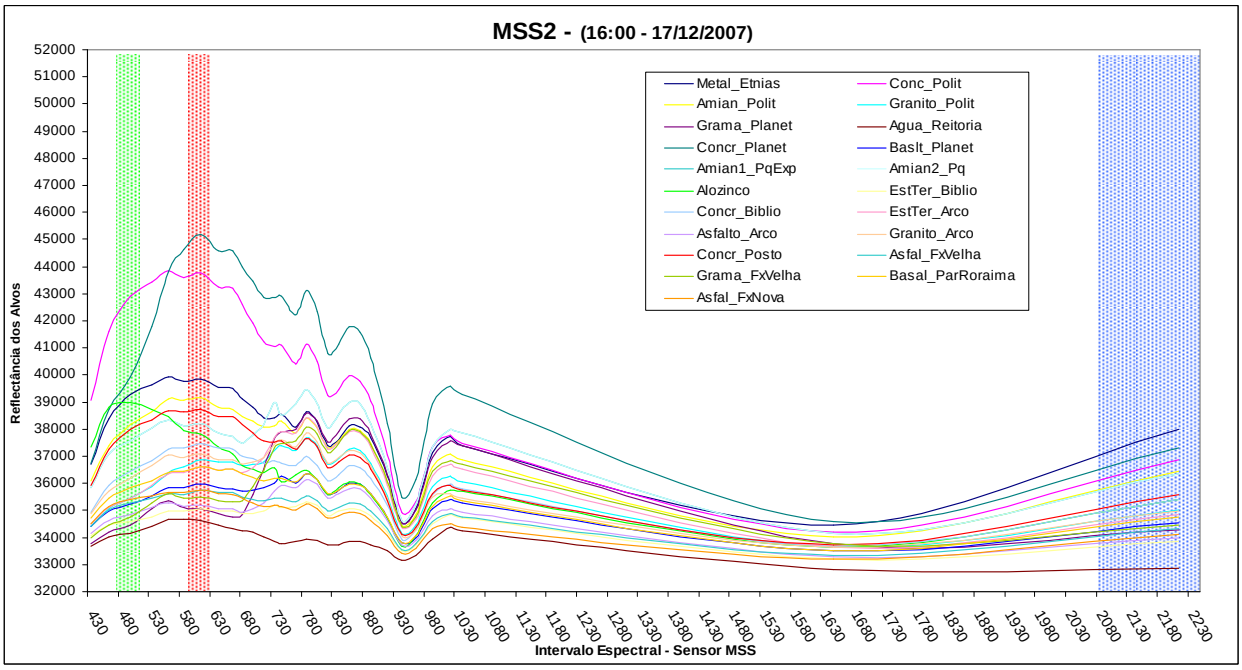

Figura 11 – Comportamento espectral dos alvos nas imagens do MSS2

Na análise dos gráficos construídos a partir dos valores digitais das imagens MSS1 e MSS2 é possível perceber que, em alguns intervalos as curvas ficam muito próximas e se confundem, porém existem intervalos onde elas se afastam e torna-se mais fácil a distinção entre os materiais. Esta separação entre os tipos de materiais

pode ser realizada de forma visual no gráfico ou por meio da análise estatística das componentes principais. Foi nesta análise que se obteve os 3 (três) intervalos destacados nos gráficos, marcados com caixas de cores vermelha (R), verde (G) e azul (B). Estes intervalos espectrais, segundo o método utilizado, representam os valores digitais ideais para a construção de um modelo estatístico que melhor discrimine os alvos propostos, segundo sua reflectância.

Analisando os dois gráficos é possível observar que as curvas do MSS1 apresentam cristas mais elevadas do que as do MSS2. Ambos são apresentados em uma mesma escala, porém são influenciadas pela geometria de aquisição. Isto provavelmente se deve ao horário de realização de cada sensoriamento, influenciados diretamente pelo ângulo de incidência da irradiação solar e, conseqüentemente, da maior reflectância dos alvos no sensoriamento das 12:00HBV .

Uma minuciosa análise sobre os gráficos apresentados levará a muitas conclusões, porém, neste momento busca-se destacar os intervalos relativos às bandas selecionadas na análise de componentes principais que maior peso imprimem sobre o modelo, quando se deseja realizar a caracterização de alvos no solo por meio de análise estatística em imagens do sensor MSS EPS-A 31T, apoiado por espectroradiometria. Em uma rápida análise visual pode-se perceber que ocorre pouca variabilidade na comparação entre as curvas dos dois gráficos, porém, avaliando-se detalhadamente, sensíveis diferenças de comportamento de um mesmo alvo podem ser percebidas, dependendo da variação de horário do sensoriamento, principalmente no fator escalar da resposta de reflectância dos alvos.

A posição de cada alvo na escala gráfica e a disposição das curvas ao longo do intervalo espectral caracteriza o tipo de material que constitui o alvo. Visualmente, é por meio destas curvas que se identificam os materiais que formam os objetos na superfície, tornando-se possível executar a discriminação entre os tipos de alvos. O formato característico da curva para cada material é denominado de assinatura espectral.

Assim, para atender ao objetivo da pesquisa foram utilizados métodos estatísticos multivariados desenvolvidos no software R 2.7©. Além do método das componentes principais, adotado para verificar os intervalos espectrais do sensor MSS que melhor caracterizam os alvos propostos, foi executada uma regressão linear

múltipla para gerar um modelo estatístico, permitindo a avaliação de alvos semelhantes a partir da leitura dos valores originais das imagens digitais.

Depois de identificados os intervalos espectrais apontados pela análise estatística das componentes principais (PCA) para o sensor MSS EPS-A 31T, retomou-se o software ERDAS 8.7® e se efetuou uma composição RGB, associando-se os intervalos encontrados aos canais de cores, nesta seqüência: banda 7 (0,60µm a 0,63 µm) ao canal vermelho, banda 3 (0,48 µm a 0,52 µm) ao canal verde e banda 30 (2,080 µm a 2,350 µm) ao canal azul. O resultado da composição destes canais é apresentado na Figura 12, onde é possível verificar o comportamento diferenciado de cada alvo após o tratamento estatístico.

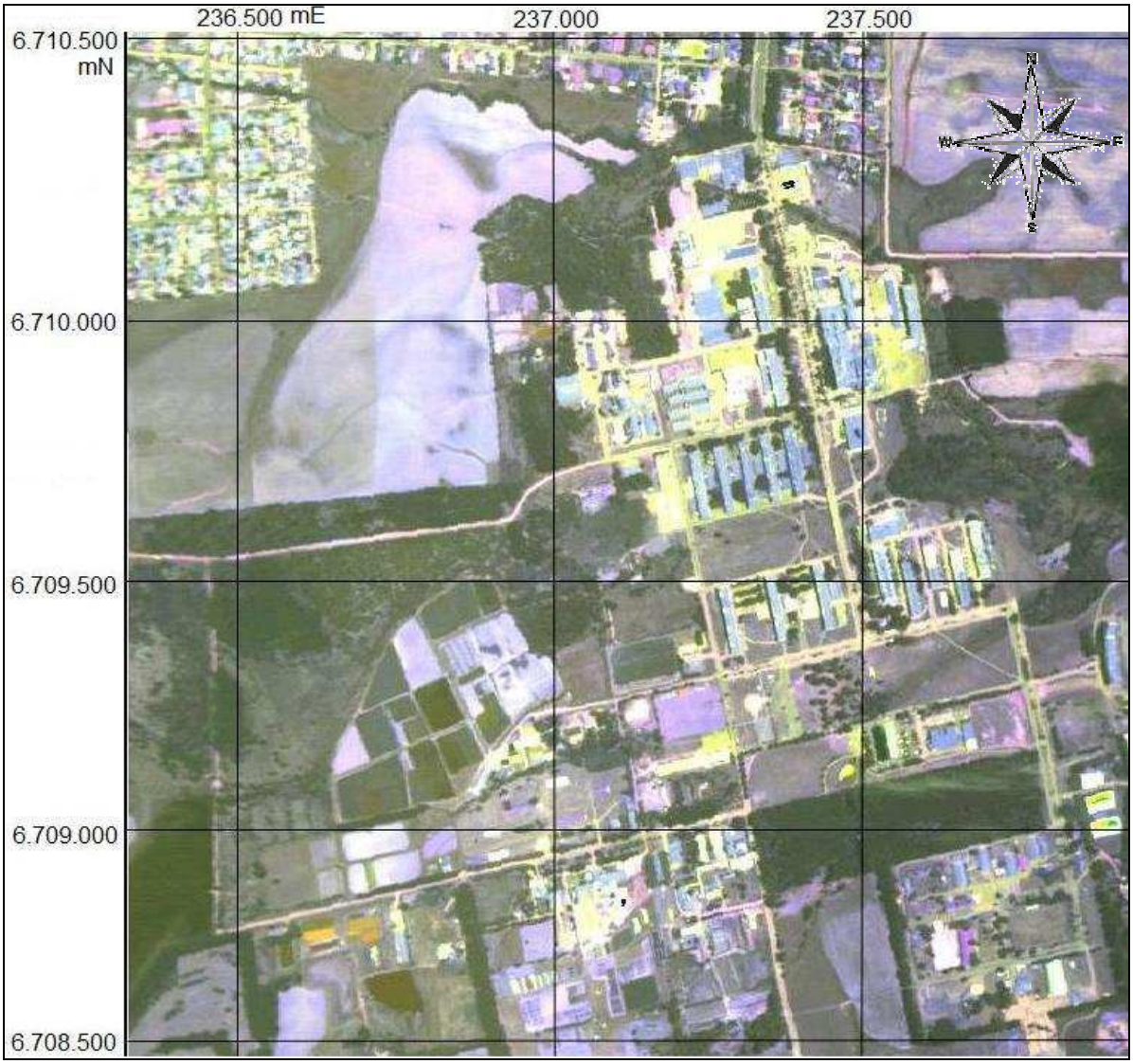

Figura 12 – Extrato de composição R7-G3-B30 - PCA do MSS1

As imagens geradas pelo sensor MSS possuem um arquivo de metadados de extensão “.AUX” que servirá para a construção do arquivo de cabeçalho da imagem com os parâmetros físicos da mesma. O georreferenciamento é feito a partir das coordenadas obtidas por um GPS de navegação acoplado ao sensor MSS, utilizando como padrão o datum WGS84.

A coloração de cada tipo de material, denunciada pelo acentuado contraste auxilia na discriminação destes. De maneira direta, pode-se inferir que a composição atribuiu coloração em tons azulados ao material amianto, tonalidade branca a coberturas metálicas e tons cinza claro ao concreto. O asfalto é representado por um tom mesclado de cinza escuro e amarelo, contrastando com o tom rosado do granito e verde-acinzentado do basalto. Já os gramados ficaram com tons roxo e lilás, enquanto a superfície d’água apresentou-se em cor amarelo-esverdeado e as estradas de terra em cor bege.

As matrizes de dados obtidas nos dois horários considerados apresentaram valores absolutos distintos, assim ocorreu com as matrizes de correlação e com os autovalores e os autovetores de ambas. Todavia, na interpretação dos resultados, ambas apresentaram a mesma relação de significância para as componentes principais, apontando como as três principais componentes os intervalos correspondentes as bandas 7, 3 e 30 do sensor MSS. A composição de imagens em canais RGB com as bandas mencionadas foi executada para os dois sensoriamentos e podem ser visualizadas no Apêndice E.

O processamento das matrizes em software estatístico apontou para valores percentuais elevados da variância total nos dois conjuntos de autovalores, obtendo-se significativa influência sobre as variáveis originais explicados pelas três principais componentes. Isto significa que as correlações guardadas pelas variáveis originais foram suprimidas pela análise das componentes principais, pois esta atribui pesos diferenciados a variáveis originais semelhantes. A informação estatística contida nas três primeiras componentes serviu para explicar um elevado percentual de variabilidade dos dados originais, possibilitando assim que as demais sejam descartadas.

Com isso, os valores das três principais componentes na análise das imagens MSS na ordem de significância foram retomados para a construção de um modelo

onde os valores digitais dos intervalos do MSS foram associados aos valores obtidos na espectroradiometria de solo. Estes intervalos foram relacionados ao seu correspondente valor no espectroradiômetro em uma análise de regressão linear.

A partir da matriz de regressão foi realizada a operação de obtenção de coeficientes para cada variável independente, para o coeficiente de interceptação e os resíduos. Estes valores são apresentados no Apêndice D. O coeficiente “β0”, correspondente ao intercepto entre a linha de regressão e o eixo “Y”, foi descartado devido a sua forte atenuação sobre os índices “R^2 observado” e “R^2 ajustado”. Com isso, o modelo foi escrito conforme segue:

$$Y = \beta 1 \,.\, BD7 + \beta 2 \,.\, BD3 + \beta 3 \,.\, BD30 + \varepsilon i$$

Onde:

Y - valores esperados de reflectância no solo;

β1, β2 e β3 - coeficientes de regressão ajustados a partir dos valores amostrados no experimento;

BD7 – primeira principal componente da análise estatística, relacionada ao intervalo espectral do sensor entre 0,60 µm e 0,63 µm;

BD3 – segunda principal componente da análise estatística, relacionada ao intervalo espectral do sensor entre 0,48 µm e 0,52 µm;

BD30 – terceira principal componente da análise estatística, relacionada ao intervalo espectral do sensor entre 2,08 µm e 2,35 µm;

εi – valor residual inerente a operação de análise de regressão.

Portanto, para o sensoriamento efetuado as 12:00HBV do dia 17/12/2007, neste trabalho denominado de MSS1, o modelo resultou na seguinte equação:

$$Y = -0{,}00003874 \,.\, X1 + 0{,}00005837 \,.\, X2 - 0.00001151 \,.\, X3 + \varepsilon i;$$

Com um coeficiente de determinação (R^2) de:

$$R^2 = 0{,}7699$$

No sensoriamento efetuado as 16:00HBV do dia 17/12/2007, neste trabalho denominado de MSS2, o modelo resultou na seguinte equação:

$$Y = 0{,}000009681 \,.\, X1 + 0{,}00005146 \,.\, X2 - 0.00005790 \,.\, X3 + \varepsilon i$$

Com um coeficiente de determinação (R^2) de:

$R^2 = 0,8540$

Os resultados apresentados, segundo a teoria estatística validam o modelo, pois o coeficiente de determinação (R^2), que indica o quanto o modelo se ajusta a reta de regressão, explica 76,99% da variabilidade da variável dependente em MSS1 e 85,40% da variabilidade da variável dependente em MSS2, pelo conjunto de variáveis independentes selecionadas na análise de regressão. É por este coeficiente que se pode avaliar a qualidade da regressão. Neste teste de ajustamento, todos os modelos analisados apresentaram linearidade, ou seja, os valores de F calculados foram maiores que os valores de F tabelados.

O método de análise de variância (ANOVA) foi utilizado para dividir a variância total da variável dependente em duas partes: a primeira devida ao modelo de regressão e a segunda devida aos resíduos (erros). A magnitude numérica destas variâncias foi comparada através do teste de Fisher (teste F) para verificar a significância destas e analisar o ajuste originado pelo modelo. Com isso buscou-se avaliar se houve melhorias no modelo eliminando algumas variáveis independentes.

Já a análise dos resíduos (εi) permitiu a visualização dos conjuntos de variáveis que apresentam maior ajuste ao modelo de regressão. Conjuntamente com os cálculos dos coeficientes de regressão para a obtenção do modelo foram obtidos os gráficos comparativos entre o valor médio ajustado e os resíduos para MSS1 e MSS2, os quais apresentam a distribuição da variabilidade residual dos pontos.

No primeiro tratamento (MSS1) os resíduos são superestimados principalmente pelos pontos 27 (-0,326530822) e 48 (-0,361828400) e são subestimados, principalmente pelos pontos 11 (0,411339495), 32 (0,415202897) e 43 (0,475668400). Apesar destas “fugas” do entorno da média, não se percebe a presença de “outliers” (valores extremos, atípicos, ou seja, são observações que não são bem ajustadas pelo modelo), sendo valores residuais que extrapolam os valores médios e afastam drasticamente o valor médio dos resíduos de zero.

No segundo tratamento (MSS2) os resíduos são superestimados principalmente pelo ponto 48 (-0,190896150) e são subestimados, principalmente pelos pontos 2 (0,236727192) e 23 (0,211300692). No entanto, a variação em torno da média é sensivelmente menor que em MSS1, ou seja, o segundo modelo está melhor ajustado.

Sendo o padrão de distribuição linear assume-se que a distribuição dos erros é normal.

Os gráficos dos valores residuais comparados aos valores ajustados são apresentados nas Figuras 13 e 14.

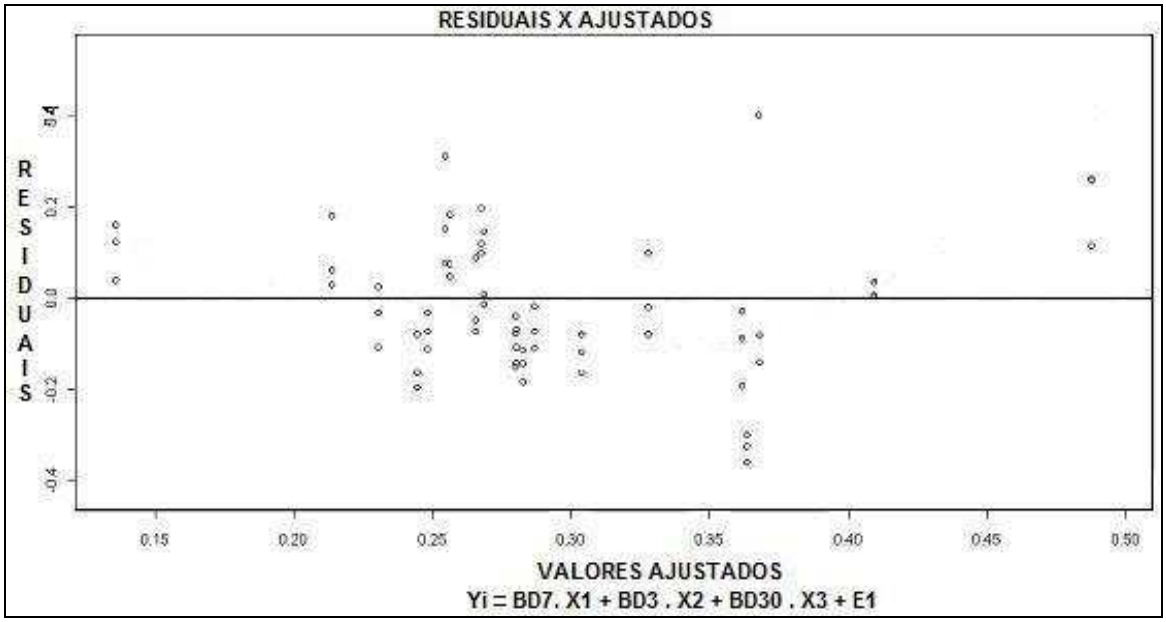

Figura 13 –Resíduos da Regressão MSS1

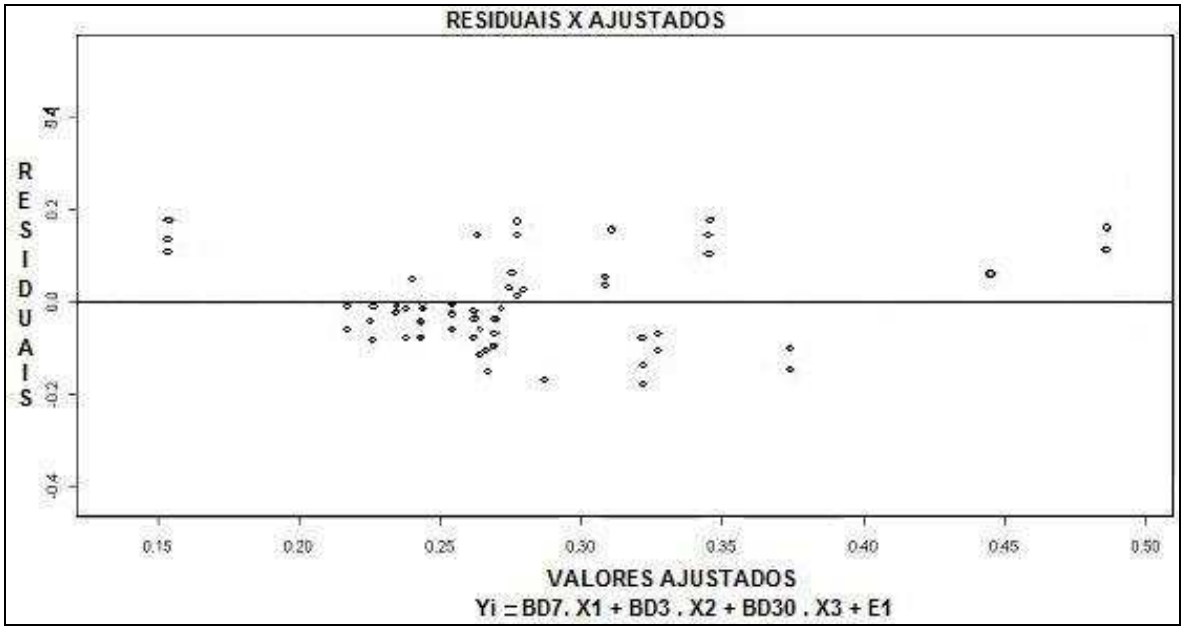

Figura 14 –Resíduos da Regressão MSS2

Analisando os gráficos pode-se inferir que o modelo de regressão linear é adequado a pesquisa proposta, pois se observa que os resíduos se distribuem aleatoriamente em torno da média e a magnitude dos erros é pequena e similar. O valor médio dos erros (resíduos) resultantes da análise de regressão é: MSS1= -0,2869 e MSS2 = -0,0851, conforme tabela apresentada no Apêndice F. A dispersão dos resíduos em ambos os tratamentos é pequena, portanto o modelo de regressão nos dois sensoriamentos são válidos .

Contudo, percebe-se que a amplitude de dispersão dos resíduos é diferente, sendo maior em MSS1, estando entre -0,4 e +0,4, enquanto em MSS2 encontra-se entre -0,2 e +0,2. A variação maior dos resíduos do primeiro tratamento em relação ao segundo está relacionada com o valor do coeficiente de determinação (R^2) encontrado na análise de regressão. No primeiro tratamento (MSS1) o R^2 explica 76,99% da variação da variável dependente, enquanto que no segundo tratamento (MSS2) o coeficiente explica 85,40% da variação da variável dependente. Assim, temos uma menor variabilidade dos resíduos do MSS2 em relação ao MSS1, pois este explica um percentual menor da variabilidade das variáveis originais em relação ao MSS2.

Existem vários métodos para examinar a validade do modelo de regressão. O método utilizado neste estudo avalia a capacidade preditiva do modelo selecionado. A verificação da validade dos modelos desta pesquisa foi comprovada com a aplicação da análise de variância (ANOVA) sobre as matrizes de regressão. Para esta avaliação foi construída uma tabela de ANOVA para cada um os modelos (MSS1 e MSS2).

A variabilidade total das amostras pode ser explicada em duas etapas: uma parte da variabilidade ocorre devido as populações serem diferentes, é a denominada variabilidade entre. Quanto maior for a variabilidade entre, mais forte é a evidência de as médias das populações serem diferentes. Outra parte de variabilidade é causada pelas diferenças dentro de cada amostra, denominada variabilidade dentro. Quanto maior for a variabilidade dentro, maior será a dificuldade para concluir se as médias das populações são diferentes.

Pela análise das tabelas de ANOVA observa-se que o teste F apresentou os valores: MSS1= 66,91 e MSS2= 116,99. Como o valor do F_{tab} ($F_{5\%;3;60}$) é igual a 2,76, percebe-se que o valor de F_{calc} é maior que o valor do F_{tab} , ($F_{calc} > F_{tab}$) para as duas análises. Demonstra-se com isso que existe diferença significativa entre os tratamentos e dentro das amostras. Conclui-se que são significativas as diferenças

nas variabilidades das amostras, o que valida o modelo que busca caracterizar os alvos e distingui-los na análise de imagens multiespectrais.

Estes resultados estão discriminados nas Tabelas 4 e 5:

TABELA 4 – Análise de Variância para o MSS1 (12:00 HBV)

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Teste F	F de Significação
Entre tratamentos	5,73673	3	1,91224	66,91223	$5,628 \times 10^{-19}$
Dentro das amostras	1,7147	60	0,02858		
Total	7,45143	63			

TABELA 5 – Análise de Variância para o MSS2 (16:00 HBV)

Fonte de variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Teste F	F de Significação
Entre tratamentos	2,988491	3	0,996164	116,9977	$8,390 \times 10^{-25}$
Dentro das amostras	0,510863	60	0,008514		
Total	3,499354	63			

Os mais diferentes métodos de análise estatística multivariada existentes guardam entre si a complexidade dos cálculos e uma crescente necessidade de implementação computacional para abordagens acerca da aplicação desta teoria. O uso de um software no complexo trabalho do cálculo estatístico é uma medida de bom senso que simplifica a aplicação do método multivariado. A inferência estatística, qual seja, o que se pode afirmar com os dados que se dispõe é simplificada pelas interfaces amigáveis apresentadas por programas estatísticos, livrando o pesquisador da trabalhosa e complexa atividade de deduções matemáticas.

5 CONCLUSÕES

A coleta de dados no solo e em vôo, assim como a forma de organização dos dados e a análise estatística aplicada foram apresentados de maneira objetiva e aplicada, validando a metodologia. Este procedimento possibilita a reutilização do método em novas pesquisas, abrangendo novos cenários urbanos.

A análise estatística multivariada mostrou-se uma ferramenta eficiente para avaliação de imagens geradas por sensores com múltiplos canais e na discriminação de alvos urbanos constituídos por diferentes materiais, quando apoiada por espectroradiometria de solo.

A análise estatística de componentes principais aplicada a imagens geradas por sensor MSS respondeu adequadamente na redução dos dados conservando informações das variáveis originais. Foram identificados os três canais do sensor que responderam melhor a variabilidade das variáveis originais (7, 3 e 30). Este procedimento é eficaz quando se deseja realçar o contraste entre elementos em uma imagem multiespectral.

O desenvolvimento de um modelo de regressão para cada sensoriamento permitiu estimar os valores esperados da variável dependente (espectroradiometria), dados os valores de algumas variáveis independentes (canais MSS). A realização da análise de variância (ANOVA) permitiu validar o modelo por meio de teste estatístico e determinar a significância da diferenças nas variabilidades dentro e entre os tratamentos. O grau de confiabilidade do modelo pode ser verificado pelos coeficientes de determinação (R^2) encontrados, os quais respondem por 76,99% da variação da variável dependente em MSS1 e 85,40% da variabilidade da variável em MSS2.

Estes resultados conduzem-nos a inferir que, para imagens geradas pelo sensor MSS EPS-A 31T o método de análise estatística multivariada é válido e eficaz

quando se busca caracterizar, com elevado nível de confiança, alvos ou objetos no solo. Porém não podem ser considerados definitivos, visto a dinâmica do desenvolvimento urbano e a diversidade de novos materiais utilizados em pavimentações e construções.

A fim de expandir o modelo e para melhor caracterizar dos materiais e superfícies do ambiente urbano sugere-se efetuar leituras com o espectroradiômetro em diferentes datas e estações climáticas, uma vez que a geometria de incidência da radiação, os parâmetros atmosféricos e aqueles relativos ao estado de conservação dos alvos, são responsáveis pelas diferentes leituras de reflectância dos mesmos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN GEOLOGICAL INSTITUTE (AGI). **Introduction to eletromagnetic remote sensing**. Huston: NSF, 1968, 292 p.

AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING (ASPRS). **What is ASPRS** – definition. Bethesda: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2000. Disponível em: http://www.asprs.org/society/about.html. Acesso em 17 de março de 2008.

AVERY, T. E.; BERLIN, G. L. **Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation**. 5th ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992, 472 p.

BERTOLO, L.A. **Manual de Estatística**: Notas sobre regressão. Caruaru: FAFICA, 2004, disponível em: <<www.bertolo.pro.br >>. Acesso em: 25 de junho de 2008.

BOSCHETTI, C. **Infrared.** In: Laboratório associado de sensores e materiais. disponível em <<www.las.inpe.br/~cesar >>. Acesso em: 19 de setembro de 2007.

CÂMARA, G.(Organizador). **Análise espacial de áreas**. São José dos Campos: INPE. 2002, 45 p.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Ediciones Rialp, 2000, 568 p.

COIMBRA, J.L.M. et al. Consequências da multicolinearidade sobre a análise de trilha em canola. **Periódico do Centro de Ciências Rurais**. Santa Maria: UFSM. v.35, n.2, p.347-352, 2005.

COSTA NETO, P.L.O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 2 ed. 2002, 264 p.

COWELL, E. B. **The effects of oil pollution on salt-marsh communities in Pembrokeshire and Cornwall**. London: J. Appl. Ecol, v. 6, n.2, p.133-142, 1969.

CRÓSTA, A. P.; SOUZA FILHO, R. S. ***Sensoriamento Remoto***: O Guia de Referência do Geoprocessamento. In: ANUÁRIO FATOR GIS. Curitiba: Sagres. 1 ed. v.1, 1997, p. 10-21.

DERENNE, M. **Caracterização de um sistema imageador infravermelho termal através de sua resoluções espacial e radiométrica**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituo Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos: INPE, 2003, 129 p.

DIGGLE, P. J.; RIBEIRO JR., P.J. **Model-based geostatistic**. 1st ed. New York: Springer, 2007, 230 p.

DINIZ, A. Estatística espacial. In: **Geoprocessamento 2000.** Belo Horizonte: UFMG. Disponível em << *www.cgp.igc.ufmg.br*>> . Acesso em:17 de maio de 2008. (Apostila)

FERNANDES, G. B. **Análise de Regressão**. Ondina: UFBA, 2002. Disponível em: <<www.est.ufba.br>>. Acesso em 27 de junho de 2008. (Notas de aula)

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. 2005. Disponível em: <<www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL>>. Acesso em: 10 de maio de 2008.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de Estatística**. São Paulo: Atlas, 6 ed., 1996, 320 p.

FORESTI, C. Impacto ambiental da expansão urbana no setor oeste da área metropolitana de São Paulo: análise através de dados e técnicas de Sensoriamento Remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - 5, 1988, Natal. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 1988.

GEOPHISICAL & ENVIRONMENTAL RESEARCH CORPORATION (GER). **Airborne Imaging Systems**. Disponível em: <<www.ger.com>>, visitada em 05 de outubro de 2007.

GOMES, J.C. **Noções de Sensoriamento Remoto**. Guaratinguetá: EEAR, 1998, 65p.

GUJARATI, D. N. **Econometria Básica**. São Paulo: Makron Books, 2000, 846 p.

HATCHELL, D. C. **Analytical Spectral Devices (ASD):** Technical guide. USA: Boulder, 4th ed. 1999, 136 p.

INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS (IEAv). **Manual de sensoriamento remoto na faixa óptica**, São José dos Campos: IEAv/INPE, 2004, 178 p.

JAIN, A.K.; ROBERT, P.W. D.; JIANCHANG, M. **Statistical pattern recognition**: A review. In: Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v. 22, n. 1 p. 4-37, jan. 2000.

JENSEN, J. R. **Urban/Suburban land use analysis**. 2nd ed. Falls Church, American Society of Photogrametry, Manual of Remote Sensing, v.2, p. 1571-1666, Chapter 30, 1983.

KAUFMANN, G. R-99B Embraer EMB-145RS/AGS Sensor. Disponível em: <<www.ordemdebatalha.com/fab/sensor_r99b.htm>>. Acesso em: 23 de junho de 2007.

KUX, H.J.H.; SOUSA, R.C.A. **Comportamento espectral de alvos urbanos:** simulação com as bandas do satélite CBERS China-Brazil Earh Resources Satellite). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - 12, 2005, Goiânia. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2005.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation.** 3th ed. New York: John Wiley, 1994. 647 p.

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006, 908 p.

LOPES, C.E. **Behaviorismo radical e subjetividade**. Tese (Doutorado em Filosofia) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos:UFSCar, 2006.

MENESES, P. R. **Fundamentos de Radiometria Óptica Espectral**. In: MENESES, P. R; MADEIRA NETTO, J. S. Sensoriamento Remoto: Reflectância dos alvos naturais. Brasília. UnB. 2001, 262 p.

MENESES,P.R.; MADEIRA NETTO, J. S. **Sensoriamento Remoto:** Reflectância dos Alvos Naturais . 1 ed. Brasília: UnB, 2001, 262 p.

MEYER, P.L. **Probabilidade**: aplicações à estatística. 2 ed. Rio de Janeiro: LTC. 1983, 426 p.

MIGUEL, P. et al. Comportamento espectral de algumas classes de solos do Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO – 30, 2005, Recife, **Anais eletrônicos**... Recife: UFPE, 2005. Disponível em: << www.ufsm.br/ppgcs/congressos/CBCS >>. Acesso em: 25 de agosto de 2008.

MILONE, G.; ANGELINI, F. **Estatística aplicada**. São Paulo: Atlas, 1995, 259 p.

MING, J. H. **A Knowledge-Based Approach to Urban-feature Classification Using Aerial Imagery with Airborne LiDAR Data**. Thesis - National Sun Yat-sen University. 2006, 204 p.

MOITA NETO, J. M. **Estatística multivariada: uma visão didática-metodológica**. Disponível em: <<www.criticanarede.com/cien_estatistica.html>> Acesso em: 17/04/2008.

MONTEIRO, J.L.A. **Avaliação da eficiência do Centro de Gerência de Redes, de uma empresa de Telecomunicações, usando Data Mining e OLAP**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade do Rio de Janeiro, 2006, 79 p.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto** . São José dos Campos: INPE, 2002, 22 p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**.3 ed. Viçosa: UFV, 2005, 320 p.

MOREIRA, R. C. ; CASTRO R.M.; ESPOSITO E. S. C.; DALLE LUCCA, E. V. **Avaliação do ruído em sensores eletroópticos:** abordagem da imagem escura no HSS**,** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. Goiânia, 2005, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005.

NASA/IPAC. **Spitzer Space Telescope**: Image gallery. Disponível em: <<http://gallery.spitzer.caltech.edu/Imagegallery/image.php?image>>. Acesso em 18 de maio de 2007.

NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied Linear Statistical Models**. 2 ed. Homewood: Richard D. Irwin, 1985, 315 p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto:** princípios e aplicações**.** São Paulo: Edgard Blücher, 1992, 308 p.

PACHECO, A. P. **Sensoriamento remoto na faixa espectral do infravermelho termal**. In: Revista da Comissão Brasileira de Geodésia. Recife: UFPE, 2001.

PANCHER, A. M; FREITAS, M.I.C. O auxilio das imagens de videografia para mapeamento de alvos urbanos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - 13. Florianópolis, 2007. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 621-628.

PIZARRO, M.A. **Sensoriamento remoto hiperespectral para a caracterização e identificação mineral em solos tropicais**, São José dos Campos: INPE, 1998, 185p.

PRADO, P. I. LEWINSOHN, T. M.; CARMO, R. L.;HOGAN, D. J. **Ordenação Multivariada na Ecologia e seu Uso em Ciências Ambientais:** Ambiente & Sociedade. Campinas: UNICAMP, v.10, p. 69-83, 2002.

RAMALHO, J. F. **Os Fundamentos da Física:** Eletromagnetismo. 6.ed. São Paulo: Moderna, 1993, 479 p.

RICCI, M. , PETRI, S. **Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica**. São Paulo: Nacional, 1965, 226 p.

ROBERTS, D. A. et al. **Identificação das mudanças usando análise de mistura espectral multitemporal:** aplicações na Amazônia Oriental. In: Detecção de mudanças utilizando sensoriamento remoto, monitoramento ambiental, aplicações e métodos, (Elvidge, C. e Lunetta R., Eds.). Chelsea: Arbor Press, 1998, cap. 9, p. .

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Edufu, 1995, 135p.

SALISBURY, J.W.; D'ARIA, D.M. **Emissivity of terrestrial materials in the 8-14 µm atmospheric window**. In: Remote Sensing of Environment, v. 42, p. 83-106, 1992.

SAMWOO SCIENTIFIC CO. **Digital Imaging Technology**. Disponível em:<<http://www.samwoosc.co.kr/fildspec.htm>>. Acesso em: 15 de março de 2008.

SANTOS, A.R. **Interações entre energia e matéria** – UFES. Disponível em: <<www.if.ufrgs.br/oei/cgu/espec/conda.htm >>. Acesso em: 19 de novembro de 2007.

SANTOS, R.J. **Geometria analítica e algebra linear**. Belo Horizonte: Imprensa Universitária da UFMG, 2000, 263p.

SCHNEIDER, P. R. **Análise de regressão aplicada à engenharia florestal**. Santa Maria: UFSM, 1997, 217 p.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e elaboração de dissertação**. 3 ed. Florianópolis: UFSC, 2001, 121 p.

SISTEMA DE VIGILÂNCIA DA AMAZÔNIA (SIVAM). Disponível em: <<www.**sivam**.gov.br>>. Acesso em: 22 de outubro de 2007.

SLATER, P.N. **Remote Sensing, optics and optical systems**. New York, Addison-Wesley, 1980, 575 p.

SLEEN, L.A. V. **Passive remote sensing from space**. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). 1982, 51 p.

STEFFEN, C.A.; LORENZETTI, J.A.; STECH, J.L.; SOUZA, R.C.M. **Sensoriamento Remoto:** Princípios Físicos, Sensores e Produtos, e Sistema LANDSAT. São José dos Campos: INPE, 1981. 71 p.

TAVARES JUNIOR, S. S. **Utilização de imagens de sensoriamento remoto, dados aerogeofísicos e de técnicas de integração digital para o estudo geológico do norte do estado de Roraima**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos: INPE, 2004.

VETTORAZZI, C. A. **Sensoriamento remoto orbital**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1992, n. 2. (Apostila).

VICINI, L. **Análise multivariada**: da teoria à prática. Monografia (Especialização em Estatística e Modelagem Quantitativa) - Centro de Ciências Naturais e Exatas, UFSM. Santa Maria: UFSM, 2005, 140 p.

A P Ê N D I C E S

APÊNDICE A – Matrizes de dados das imagens MSS.

MSS1 – SENSORIAMENTO DAS 12:00 HBV

	BD1(430,3)	BD2(461,3)	BD3(497,4)	BD4(533,9)	BD5(564,1)	BD6(589,4)	BD7(614,4)	BD8(644,4)	BD9(668,9)	BD10(685,5)	BD11(702,5)	BD12(719,3)	BD13(736,0)	BD14(753,0)	BD15(770,0)	BD16(787,3)	BD17(804,0)	BD18(821,2)	BD19(838,8)	BD20(856,1)	BD21(873,6)	BD22(891,0)	BD23(913,0)	BD24(939,7)	BD25(966,6)	BD26(993,3)	BD27(1020,3)	BD28(1041,3)	BD29(1670,0)	BD30(2243,0)
Metal_Etnias	40590,50	43376,50	44698,67	45266,83	45864,17	45612,83	45596,17	44899,00	44790,33	44224,17	43543,00	43023,33	42744,17	43030,33	42167,50	42871,00	42252,50	40884,17	41123,33	41738,17	41654,50	41102,67	38900,83	36228,83	36808,83	39748,17	40499,00	40286,83	35421,83	41244,00
Conc_Polit	42341,00	45897,67	47728,33	48550,00	49394,33	49288,67	49587,17	48739,83	48621,17	47854,33	46944,33	46050,00	45766,00	45821,83	44814,50	45760,17	44922,50	43076,83	43345,83	43930,50	43688,83	42717,33	39843,00	36612,00	37189,33	40295,83	40903,17	40433,33	35056,67	39606,17
Amian_Polit	38748,50	40919,50	42034,00	42705,00	43433,50	43311,00	43361,00	42719,00	42486,50	42036,50	41720,00	41378,50	41223,00	41332,50	40841,00	41500,50	41074,50	39934,00	40168,00	40735,50	40661,50	40007,50	38010,50	35623,00	36078,50	38520,00	39118,50	38660,00	34687,00	38755,50
Granito_Polit	35453,67	36403,00	36875,50	37488,50	38225,33	38607,00	38977,17	38783,83	38762,00	38563,00	38573,00	38654,83	39117,17	39258,83	39076,67	39676,67	39265,33	38358,50	38537,67	38983,83	38864,33	38398,83	36921,50	35114,17	35594,33	37776,50	38548,00	38250,17	33882,33	35818,33
Grama_Planet	34711,00	35502,50	36026,83	37162,00	37806,17	37404,83	37341,00	37006,33	36768,50	36907,83	38150,50	39711,00	41386,00	41847,50	41936,83	42877,50	42472,50	41213,83	41679,17	42414,33	42390,50	41672,33	39280,33	36300,00	36938,33	40029,33	40877,33	40597,00	34569,33	35801,83
Agua_Reitoria	38106,00	40205,83	41226,50	41829,00	42388,00	42132,33	42095,67	41452,50	41128,33	40676,50	40453,83	40013,83	40006,83	39664,83	39536,00	40053,17	39631,50	38596,17	38819,50	39202,33	39070,50	38457,83	36941,67	35039,33	35541,67	37679,50	38382,83	38065,83	33933,83	35826,00
Concr_Planet	39633,83	42777,50	44547,00	47124,17	50180,33	51383,00	51904,83	50768,50	50538,17	49795,67	49043,67	48148,17	47874,33	47924,33	46883,83	47961,83	46994,67	44757,50	45050,83	45743,50	45406,00	44244,33	40933,50	37191,17	37865,17	41514,17	42238,50	41651,67	35426,33	39431,67
Baslt_Planet	35972,33	37123,00	37691,50	38154,67	38649,83	38708,17	38905,17	38645,33	38629,50	38425,50	38317,50	38275,00	38398,83	38479,67	38191,67	38653,50	38345,83	37544,00	37727,67	38112,00	38123,00	37674,67	36387,17	34828,17	35316,83	37377,50	38130,17	37939,00	33795,33	35676,00
Amian1_PqExp	35131,50	36046,50	36392,67	36591,67	36853,67	36763,50	36872,83	36641,17	36546,17	36330,50	36414,67	36421,17	36715,83	36356,50	36647,50	36991,50	36838,00	36377,67	36772,33	37120,17	37217,50	36806,33	35876,83	34466,67	35007,50	36779,17	37417,17	37277,83	34359,00	37393,50
Amian2_Pq	34516,67	35217,17	35479,83	35837,17	36140,17	35983,33	36032,83	35821,83	35743,67	35677,50	36222,67	36899,67	37781,00	37497,83	37925,67	38374,17	38005,33	37276,17	37694,00	37991,33	37927,00	37394,33	36113,50	34491,67	34926,83	36472,50	36964,00	36901,83	33768,83	35438,00
Alozinco	42359,83	46110,83	47076,17	47139,33	46928,17	46161,17	46168,00	45061,83	44575,00	43495,17	43006,33	42480,17	42950,00	41397,33	42051,33	42420,33	41586,67	40300,67	40840,67	41325,17	41174,00	40148,50	38149,83	35529,33	36490,33	39409,17	40432,50	40526,33	35055,00	40312,67
EstTer_Biblio	35729,33	37141,17	37946,17	38814,17	39744,67	40159,50	40648,17	40422,17	40417,83	40144,67	40174,50	40112,50	40495,83	40103,00	40110,00	40633,33	40120,50	39026,67	39335,83	39779,83	39627,33	38958,00	37257,67	35166,67	35713,33	37893,17	38510,17	38363,00	34290,00	37072,67
Concr_Biblio	37901,33	39943,67	40470,67	41523,67	42166,83	42219,67	42896,67	42643,50	42596,50	42132,33	41847,67	41424,17	41546,17	41185,50	40927,83	41606,83	41105,17	39899,17	40249,50	40746,83	40649,33	39886,83	37939,33	35583,50	36093,67	38441,00	38952,00	38624,00	34708,83	38623,50
EstTer_Arco	35546,33	36563,17	37091,67	37714,00	38304,67	38380,17	38620,83	38443,17	38445,67	38317,67	38411,33	38667,50	39160,67	39280,50	39112,50	39703,00	39373,67	38432,17	38658,17	39016,50	38969,83	38422,00	36847,67	34967,83	35327,67	37153,50	37584,33	37358,00	34026,33	36025,00
Asfalto_Arco	35737,33	36794,17	37309,67	37716,83	38152,00	38186,83	38342,83	38117,17	38145,67	37909,17	37754,33	37659,17	37741,00	37837,50	37600,00	37991,83	37677,50	36996,50	37185,67	37494,00	37425,33	37031,00	35872,50	34501,33	34824,00	36352,00	36804,50	36616,83	33803,50	35843,83
Granito_Arco	35835,83	37016,17	37624,17	38211,00	38829,83	38909,50	39117,50	38818,50	38757,17	38538,83	38646,17	38859,67	39317,83	39440,00	39229,50	39758,00	39340,33	38409,83	38631,50	39009,83	38889,67	38344,50	36837,67	35014,17	35410,67	37307,50	37854,00	37631,17	33902,33	35842,00
Concr_Posto	39850,67	42682,67	43282,17	45020,83	45958,50	45957,17	46294,00	45706,50	45725,50	45203,50	44488,50	43697,67	43250,50	43416,00	42539,50	43298,00	42676,17	41183,17	41452,83	41862,33	41719,33	41017,00	38683,33	35991,83	36299,50	38718,00	39005,67	38572,00	35524,83	32257,00
Asfal_FxVelha	35722,17	36775,67	37190,67	37400,83	37679,33	37648,00	37752,33	37520,67	37447,17	37217,67	37003,67	36771,00	36778,83	36697,33	36513,17	36778,67	36544,00	35999,33	36124,33	36268,33	36245,00	35870,50	35010,33	33995,67	34209,50	35245,33	35494,67	35380,33	33506,17	35180,17
Grama_FxVelha	34714,00	35624,00	36142,17	36995,17	37527,00	37355,00	37450,33	37226,67	37117,00	37158,00	37929,83	38791,00	39857,50	40002,50	40087,67	40864,17	40539,00	39515,17	39971,67	40505,50	40517,83	39903,83	37982,33	35586,17	36068,17	38419,67	38991,33	38770,67	34361,83	35704,00
Basal_ParRoraima	36043,17	37389,33	38014,17	38452,67	38932,00	38988,00	39199,67	38910,67	38871,00	38555,67	38380,17	38225,50	38367,17	38233,00	38053,83	38501,00	38158,17	37397,00	37615,67	37978,17	37889,33	37470,17	36224,17	34703,17	35187,50	37062,33	37801,17	37495,33	33858,17	35976,50
Asfal_FxNova	35491,33	36488,33	36960,00	37374,17	37857,17	37883,83	37989,00	37764,33	37709,00	37473,67	37381,50	37201,50	37344,17	37254,33	37137,67	37432,33	37235,17	36549,83	36712,33	36972,83	36916,00	36573,50	35548,00	34307,17	34658,83	36091,00	36529,17	36352,00	33639,33	35264,83

MSS2 – SENSORIAMENTO DAS 16:00 HBV

	BD1(430,3)	BD2(461,3)	BD3(497,4)	BD4(533,9)	BD5(564,1)	BD6(589,4)	BD7(614,4)	BD8(644,4)	BD9(668,9)	BD10(685,5)	BD11(702,5)	BD12(719,3)	BD13(736,0)	BD14(753,0)	BD15(770,0)	BD16(787,3)	BD17(804,0)	BD18(821,2)	BD19(838,8)	BD20(856,1)	BD21(873,6)	BD22(891,0)	BD23(913,0)	BD24(939,7)	BD25(966,6)	BD26(993,3)	BD27(1020,3)	BD28(1041,3)	BD29(1670,0)	BD30(2243,0)
Metal_Etnias	36703,0	38384,5	39280,7	39613,5	39913,5	39745,5	39838,2	39523,3	39481,2	39131,2	38788,8	38440,7	38421,2	38568,3	38098,0	38654,0	38249,7	37407,2	37622,2	38128,3	38082,2	37690,7	36247,0	34557,3	35072,0	37110,0	37713,7	37401,8	34454,7	38987,2
Conc_Polit	39056,0	41598,0	42925,7	43406,3	43862,0	43613,2	43760,2	43229,3	43189,3	42603,3	41900,7	41240,8	41051,2	41095,5	40394,7	41124,7	40493,7	39233,8	39467,8	39956,0	39766,2	39026,8	37027,0	34918,2	35309,5	37364,0	37782,8	37453,7	34192,7	36885,3
Amian_Polit	36092,5	37387,3	38150,7	38635,2	39116,7	39056,7	39153,7	38821,0	38731,2	38468,0	38312,8	38094,8	38135,0	38281,0	37878,7	38426,0	38052,8	37295,5	37546,3	38009,8	37947,3	37491,7	36033,3	34449,0	34847,7	36591,0	37083,5	36889,8	34031,8	36440,2
Granito_Polit	34397,3	35078,5	35462,7	35875,7	36377,8	36597,3	36885,0	36775,0	36798,5	36643,0	36688,8	36799,7	37223,3	37402,0	37214,2	37708,2	37403,5	36690,5	36925,3	37237,2	37194,2	36736,3	35531,0	34141,8	34448,5	35887,0	36248,2	36062,3	33632,0	35031,7
Grama_Planet	33785,2	34183,0	34444,7	35073,3	35367,0	35092,0	35077,2	34882,7	34747,7	34851,5	35592,7	36536,3	37651,0	37896,2	37978,3	38589,0	38280,8	37512,7	37912,0	38386,8	38376,2	37838,3	36331,3	34561,5	35024,3	36966,3	37548,0	37382,7	33764,8	34293,5
Agua_Reitoria	33687,2	34014,3	34168,2	34434,8	34682,0	34660,5	34616,2	34459,7	34334,3	34233,7	34189,7	34005,7	33855,8	33788,3	33850,0	33954,0	33887,3	33734,7	33737,0	33843,8	33834,5	33712,2	33503,2	33172,7	33329,0	33947,2	34349,3	34249,5	32827,2	32848,3
Concr_Planet	36739,5	38707,8	39943,2	41779,5	43813,3	44636,7	45170,7	44572,3	44575,7	43973,8	43481,7	42870,5	42878,3	42895,5	42211,3	43134,0	42330,0	40775,0	41136,0	41768,7	41561,5	40637,2	38191,2	35508,7	36138,5	38928,7	39598,3	39303,8	34606,0	37303,8
Baslt_Planet	34396,0	34959,7	35248,8	35549,0	35851,2	35841,3	35956,0	35815,2	35807,5	35714,3	35747,0	35837,7	36027,5	36257,3	36008,3	36354,8	36155,8	35592,5	35735,2	35998,0	35946,7	35618,0	34735,0	33816,3	33997,8	35060,8	35419,3	35256,5	33494,3	34550,5
Amian1_PqExp	35058,5	36012,5	36404,8	36620,7	36872,8	36811,5	36960,5	36726,8	36641,7	36422,0	36425,0	36346,0	36612,3	36190,7	36477,0	36899,0	36677,8	36217,8	36702,2	37086,8	37122,8	36692,3	35628,3	34162,7	34688,8	36313,0	36837,0	36785,8	34538,3	37834,0
Amian2_Pq	35817,3	37076,2	37567,8	38031,5	38356,5	38139,7	38210,0	37845,5	37715,2	37478,0	37762,3	38159,5	38985,7	38491,7	38927,5	39446,0	38933,7	38043,2	38562,2	38970,3	38941,2	38204,8	36583,0	34609,2	35223,7	37329,7	38005,8	37851,0	34171,7	36369,3
Alozinco	37330,2	38821,7	38968,0	38705,7	38458,5	37935,0	37826,3	37336,0	37103,3	36673,2	36541,7	36377,7	36586,2	36054,7	36295,3	36470,3	36126,8	35595,5	35823,5	36043,0	35963,2	35564,5	34727,7	33697,8	34068,7	35286,5	35760,5	35714,7	33620,3	36400,5
EstTer_Biblio	34063,0	34442,2	34585,7	34759,2	34957,2	34982,0	35077,8	34962,3	34964,7	34882,3	34904,3	34975,5	35177,3	35114,3	35132,5	35307,7	35189,2	34815,3	34962,2	35067,5	35033,8	34804,0	34203,3	33509,3	33714,7	34519,5	34829,5	34709,8	33205,5	33833,8
Concr_Biblio	34951,8	35921,0	36436,8	36836,3	37256,8	37305,5	37486,7	37285,8	37266,3	37019,0	36931,5	36750,2	36847,8	36755,5	36640,2	36997,0	36676,3	36076,5	36331,3	36654,2	36589,3	36196,0	35184,7	33957,8	34294,2	35595,7	35971,8	35814,0	33686,0	35405,3
EstTer_Arco	34482,8	35105,8	35454,8	35908,7	36367,2	36411,3	36627,0	36500,0	36534,5	36412,3	36578,0	36940,2	37686,0	37926,2	37852,0	38431,7	38094,8	37255,2	37518,0	37893,2	37845,2	37329,2	35904,5	34360,5	34663,0	36276,0	36713,0	36537,0	33642,3	34833,8
Asfalto_Arco	34165,0	34635,0	34833,5	35082,8	35265,2	35167,5	35188,7	35053,7	35055,8	34945,5	35055,3	35272,0	35693,5	35919,3	35825,2	36151,2	35976,5	35453,3	35628,2	35809,8	35786,7	35466,3	34634,8	33734,5	33892,2	34816,7	35050,0	34930,0	33277,5	33989,3
Granito_Arco	34868,0	35721,5	36175,8	36640,5	37036,8	36977,2	37090,0	36871,0	36862,8	36706,8	36781,8	36975,8	37413,3	37593,7	37348,2	37846,3	37519,3	36752,5	36953,0	37208,7	37133,5	36661,2	35444,3	34081,8	34281,5	35480,8	35616,2	35459,8	33657,8	34987,5
Concr_Posto	35941,5	37278,7	37975,7	38314,8	38688,7	38616,7	38733,7	38472,7	38455,0	38144,5	37850,7	37545,3	37513,3	37566,5	37243,7	37643,8	37324,8	36579,7	36779,8	37061,3	36978,0	36511,2	35361,7	34093,8	34359,2	35636,3	35901,0	35767,5	33719,8	35559,2
Asfal_FxVelha	34408,5	35001,3	35287,3	35429,8	35612,8	35597,0	35765,7	35673,7	35680,8	35506,0	35421,8	35364,0	35427,2	35429,2	35327,8	35553,0	35343,8	34988,8	35089,5	35272,5	35228,7	34986,3	34318,5	33566,3	33746,7	34607,7	34876,2	34750,2	33336,5	34315,2
Grama_FxVelha	33965,7	34474,2	34770,0	35293,2	35603,3	35442,2	35510,3	35380,7	35322,3	35357,3	35875,7	36501,7	37299,0	37467,2	37540,2	38073,7	37827,5	37121,8	37460,3	37957,8	37893,0	37443,0	36035,0	34411,3	34770,2	36435,0	36835,0	36681,0	33782,3	34458,7
Basal_ParRoraima	34714,5	35440,7	35844,2	36088,5	36396,0	36438,0	36619,5	36476,7	36507,2	36335,5	36233,3	36073,8	36161,3	36176,2	36058,5	36339,3	36119,8	35615,3	35749,2	35986,0	35934,5	35603,0	34771,8	33794,5	34054,7	35159,0	35519,5	35345,2	33508,7	34777,3
Asfal_FxNova	34501,5	35142,8	35407,7	35521,2	35683,8	35652,2	35737,8	35603,5	35597,2	35427,3	35293,2	35158,3	35179,8	35145,7	35008,5	35225,8	35056,0	34703,2	34786,8	34945,5	34898,7	34636,3	34062,0	33425,0	33584,7	34316,8	34512,3	34376,0	33220,8	34093,3

APÊNDICE B – Análise das componentes principais

IMPORTÂNCIA DAS PRINCIPAIS COMPONENTES DA MATRIZ MSS1 – 12:00 HBV:

	Comp.1	**Comp.2**	**Comp.3**	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8
Standard deviation	1.768843e+07	2.600952e+06	5.741352e+05	4.050887e+05	6.241055e+04	2.013732e+04	1.650894e+04	1.315715e+04
Proportion of Variance	9.773120e-01	2.113096e-02	1.029634e-03	5.125719e-04	1.216664e-05	1.266653e-06	8.513208e-07	5.407273e-07
Cumulative Proportion	9.773120e-01	9.984429e-01	9.994726e-01 ou **99,947%**	9.999851e-01	9.999973e-01	9.999986e-01	9.999994e-01	1.000000e+00

IMPORTÂNCIA DAS PRINCIPAIS COMPONENTES DA MATRIZ MSS2 – 16:00 HBV:

	Comp.1	**Comp.2**	**Comp.3**	Comp.4	Comp.5	Comp.6	Comp.7	Comp.8
Standard deviation	6.244799e+06	1.529747e+06	2.341456e+05	1.415593e+05	3.260423e+04	5.966958e+03	3.533277e+03	2.202614e+03
Proportion of Variance	9.416591e-01	5.650622e-02	1.323819e-03	4.838754e-04	2.566874e-05	8.597314e-07	3.014479e-07	1.171477e-07
Cumulative Proportion	9.416591e-01	9.981653e-01	9.994891e-01 ou **99,948**%	9.999730e-01	9.999987e-01	9.999995e-01	9.999998e-01	1.000000e+00

* Foram apresentadas apenas 08 (oito) de um conjunto de 30 (trinta) componentes, pois as demais representam um percentual insignificante na explicação da variabilidade das variáveis originais.

APÊNDICE C – Matrizes de regressão

	ALVOS	MSS1				MSS2			
		Y	BD7	BD3	BD30	Y	BD7	BD3	BD30
ESPECTRORADIÔMETRO 7	Metal_Etnias	0,286348407	45596,17	44698,67	41244,00	0,146413666	39838,17	39280,67	38987,17
	Concre_Poli	0,444482708	49587,17	47728,33	39606,17	0,733905177	43760,17	42925,67	36885,33
	Amian_Pol	0,309282939	43361,00	42034,00	38755,50	0,394927443	39153,67	38150,67	36440,17
	Gran_Pol	0,198004404	38977,17	36875,50	35818,33	0,142701063	36885,00	35462,67	35031,67
	Gram_Plan	0,080594851	37341,00	36026,83	35801,83	0,124885491	35077,17	34444,67	34293,50
	Lago_Reit	0,060845231	42095,67	41226,50	35826,00	0,108846549	34616,17	34168,17	32848,33
	Conc_Plan	0,296767918	51904,83	44547,00	39431,67	0,39750216	45170,67	39943,17	37303,83
	Basalto_Plan	0,138808269	38905,17	37691,50	35676,00	0,202825118	35956,00	35248,83	34550,50
	1ºAmia_Pqe	0,217405574	36872,83	36392,67	37393,50	0,202825118	36960,50	36404,83	37834,00
	2ºAmia_Pqe	0,465803588	36032,83	35479,83	35438,00	0,186910837	38210,00	37567,83	36369,33
	Alozinco	0,906818764	46168,00	47076,17	40312,67	0,152310325	37826,33	38968,00	36400,50
	EstTer_Bib	0,395483751	40648,17	37946,17	37072,67	0,124311431	35077,83	34585,67	33833,83
	Conc_Biblio	0,440289127	42896,67	40470,67	38623,50	0,09518719	37486,67	36436,83	35405,33
	EstTer_Arco	0,568450135	38620,83	37091,67	36025,00	0,149203666	36627,00	35454,83	34833,83
	Asfa_Roraima	0,210843898	38342,83	37309,67	35843,83	0,191315898	35188,67	34833,50	33989,33
	Gran_Arco	0,414777335	39117,50	37624,17	35842,00	0,255936065	37090,00	36175,83	34987,50
	Conc_Posto	0,334991081	46294,00	43282,17	32257,00	0,215679769	38733,67	37975,67	35559,17
	Asfa_FxVel	0,223756541	37752,33	37190,67	35180,17	0,158854214	35765,67	35287,33	34315,17
	Grama_Rot	0,215619139	37450,33	36142,17	35704,00	0,107840536	35510,33	34770,00	34458,67
	Basal_ParRor	0,269155552	39199,67	38014,17	35976,50	0,158871889	36619,50	35844,17	34777,33
	Asfa_FxNova	0,240787848	37989,00	36960,00	35264,83	0,14049856	35737,83	35407,67	34093,33
ESPECTRORADIÔMETRO 3	Metal_Etnias	0,226805316	45596,17	44698,67	41244,00	0,134615513	39838,17	39280,67	38987,17
	Concre_Poli	0,412597188	49587,17	47728,33	39606,17	0,708478677	43760,17	42925,67	36885,33
	Amian_Pol	0,24792459	43361,00	42034,00	38755,50	0,333618716	39153,67	38150,67	36440,17
	Gran_Pol	0,121423671	38977,17	36875,50	35818,33	0,091269933	36885,00	35462,67	35031,67
	Gram_Plan	0,048456555	37341,00	36026,83	35801,83	0,081295519	35077,17	34444,67	34293,50
	Lago_Reit	0,036888439	42095,67	41226,50	35826,00	0,069011566	34616,17	34168,17	32848,33
	Conc_Plan	0,17637799	51904,83	44547,00	39431,67	0,251964624	45170,67	39943,17	37303,83
	Basalto_Plan	0,097954182	38905,17	37691,50	35676,00	0,150356452	35956,00	35248,83	34550,50
	1ºAmia_Pqe	0,192687607	36872,83	36392,67	37393,50	0,150356452	36960,50	36404,83	37834,00
	2ºAmia_Pqe	0,36693699	36032,83	35479,83	35438,00	0,145834403	38210,00	37567,83	36369,33
	Alozinco	0,910682166	46168,00	47076,17	40312,67	0,199427042	37826,33	38968,00	36400,50
	EstTer_Bib	0,243351801	40648,17	37946,17	37072,67	0,100124583	35077,83	34585,67	33833,83
	Conc_Biblio	0,332024383	42896,67	40470,67	38623,50	0,140177359	37486,67	36436,83	35405,33
	EstTer_Arco	0,332330383	38620,83	37091,67	36025,00	0,197298091	36627,00	35454,83	34833,83
	Asfa_Roraima	0,171127713	38342,83	37309,67	35843,83	0,300978758	35188,67	34833,50	33989,33
	Gran_Arco	0,277949846	39117,50	37624,17	35842,00	0,161766244	37090,00	36175,83	34987,50
	Conc_Posto	0,27336211	46294,00	43282,17	32257,00	0,173915041	38733,67	37975,67	35559,17
	Asfa_FxVel	0,185878255	37752,33	37190,67	35180,17	0,126824712	35765,67	35287,33	34315,17
	Grama_Rot	0,1365902	37450,33	36142,17	35704,00	0,071376361	35510,33	34770,00	34458,67
	Basal_ParRor	0,213204498	39199,67	38014,17	35976,50	0,124684751	36619,50	35844,17	34777,33
	Asfa_FxNova	0,202581833	37989,00	36960,00	35264,83	0,118197826	35737,83	35407,67	34093,33
ESPECTRORADIÔMETRO	Metal_Etnias	0,843808637	45596,17	44698,67	41244,00	0,284824989	39838,17	39280,67	38987,17
	Concre_Poli	0,41585024	49587,17	47728,33	39606,17	0,450451571	43760,17	42925,67	36885,33
	Amian_Pol	0,427048314	43361,00	42034,00	38755,50	0,367559532	39153,67	38150,67	36440,17
	Gran_Pol	0,256584041	38977,17	36875,50	35818,33	0,114913577	36885,00	35462,67	35031,67
	Gram_Plan	0,164213273	37341,00	36026,83	35801,83	0,186633139	35077,17	34444,67	34293,50
	Lago_Reit	0,001586421	42095,67	41226,50	35826,00	0,000801592	34616,17	34168,17	32848,33
	Conc_Plan	0,261365272	51904,83	44547,00	39431,67	0,211511259	45170,67	39943,17	37303,83

RADIOM

RADIOMETRO 30	Basalto_Plan	0,16773015	38905,17	37691,50	35676,00	0,160144973	35956,00	35248,83	34550,50
	1ºAmia_Pqe	0,355845069	36872,83	36392,67	37393,50	0,160144973	36960,50	36404,83	37834,00
	2ºAmia_Pqe	0,386996897	36032,83	35479,83	35438,00	0,343162865	38210,00	37567,83	36369,33
	Alozinco	0,762881735	46168,00	47076,17	40312,67	0,117858625	37826,33	38968,00	36400,50
	EstTer_Bib	0,276372551	40648,17	37946,17	37072,67	0,127000014	35077,83	34585,67	33833,83
	Conc_Biblio	0,303741559	42896,67	40470,67	38623,50	0,14251746	37486,67	36436,83	35405,33
	EstTer_Arco	0,406894852	38620,83	37091,67	36025,00	0,233163788	36627,00	35454,83	34833,83
	Asfa_Roraima	0,136006223	38342,83	37309,67	35843,83	0,320884525	35188,67	34833,50	33989,33
	Gran_Arco	0,254692442	39117,50	37624,17	35842,00	0,241737046	37090,00	36175,83	34987,50
	Conc_Posto	0,169819466	46294,00	43282,17	32257,00	0,179521752	38733,67	37975,67	35559,17
	Asfa_FxVel	0,140538143	37752,33	37190,67	35180,17	0,174415177	35765,67	35287,33	34315,17
	Grama_Rot	0,175273134	37450,33	36142,17	35704,00	0,139312881	35510,33	34770,00	34458,67
	Basal_ParRor	0,176306826	39199,67	38014,17	35976,50	0,171616547	36619,50	35844,17	34777,33
	Asfa_FxNova	0,12892046	37989,00	36960,00	35264,83	0,119117871	35737,83	35407,67	34093,33

Correspondência entre abreviaturas e alvos:

Abreviatura	Descrição do alvo
Metal_Etnias	cobertura metálica zincada no Colégio Politécnico/UFSM
Concre_Poli	superfície de concreto no Colégio Politécnico/UFSM
Amian_Pol	telhado de amianto em anexo do Colégio Politécnico/UFSM
Gran_Pol	rua com pavimento de granito ao lado do Colégio Politécnico/UFSM
Gram_Plan	área gramada no entorno do Planetário/UFSM
Lago_Reit	superfície d'água ao lado da Reitoria/UFSM
Conc_Plan	estrutura em concreto do Planetário/UFSM
Basalto_Plan	estrada de pedra basáltica ao lado do Planetário/UFSM
1ºAmia_Pqe	cobertura de amianto do Parque de Exposições/UFSM
2ºAmia_Pqe	cobertura de amianto do Parque de Exposições/UFSM
Alozinco	cobertura metálica no Centro Poliesportivo/UFSM
EstTer_Bib	estrada de terra ao lado da Biblioteca/UFSM
Conc_Biblio	estacionamento em concreto ao lado da Biblioteca/UFSM
EstTer_Arco	estrada de terra próximo a entrada da UFSM
Asfa_Roraima	avenida asfaltada de acesso a UFSM
Gran_Arco	seguimento da avenida Roraima dentro da UFSM
Conc_Posto	pavimento do Posto de combustíveis BR
Asfa_FxVel	pavimento da rodovia asfaltada - RS-509
Grama_Rot	gramado na área central da RS - 509
Basal_ParRor	pavimento em basalto em rua do bairro Camobi
Asfa_FxNova	pavimento da rodovia asfaltada - BR-287

APÊNDICE D – Estatística da regressão

MSS1 – 12:00 HBV:

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,877429644
R-Quadrado	0,769882779
R-quadrado ajustado	0,745545539
Erro padrão	0,169051378
Observações	63

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	0	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
BD7(600_630)	-3,87379E-05	1,43055E-05	-2,70791024	0,008808242	-6,73531E-05	-1,01227E-05	-6,7353E-05	-1,01227E-05
BD3(480_520)	5,83696E-05	1,76704E-05	3,30324047	0,001614475	2,30235E-05	9,37156E-05	2,30235E-05	9,37156E-05
BD30(2080_2350)	-1,15072E-05	8,08651E-06	-1,42300952	0,159912317	-2,76826E-05	4,66825E-06	-2,7683E-05	4,66825E-06

MSS2 – 16:00 HBV:

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,924127779
R-Quadrado	0,854012152
R-quadrado ajustado	0,832479224
Erro padrão	0,092273432
Observações	63

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	0	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
BD7(600_630)	9,68121E-06	1,08551E-05	0,891857972	0,376031886	-1,20322E-05	3,13947E-05	-1,203E-05	3,13947E-05
BD3(480_520)	5,14627E-05	1,46554E-05	3,511529887	0,000852749	2,21477E-05	8,07778E-05	2,2148E-05	8,07778E-05
BD30(2080_2350)	-5,78969E-05	8,78275E-06	-6,59211492	1,23617E-08	-7,5465E-05	-4,03288E-05	-7,547E-05	-4,03288E-05

APÊNDICE E – Imagens MSS canais 7(Red), 3(Green), 30(Blue)

MSS1 - 12:00 HBV

MSS2 - 16:00 HBV

APÊNDICE F– Erros ou resíduos da análise de regressão

	ALVOS	MSS1			MSS2		
		Yi-Observado	Y-Estimado	Resíduo MSS1	Yi-Observado	Y-Estimado	Resíduo MSS2
ESPECTRORADIOMETRO 7	Metal_Etnias	0,286348407	0,368140238	-0,081791831	0,146413666	0,149936955	-0,003523289
	Concre_Poli	0,444482708	0,409224462	0,035258246	0,733905177	0,497177985	0,236727192
	Amian_Pol	0,309282939	0,327826064	-0,018543126	0,394927443	0,232620643	0,1623068
	Gran_Pol	0,198004404	0,230345637	-0,032341233	0,142701063	0,153873113	-0,01117205
	Gram_Plan	0,080594851	0,244380851	-0,163786001	0,124885491	0,126719574	-0,001834084
	Lago_Reit	0,060845231	0,363419261	-0,30257403	0,108846549	0,191697742	-0,082851193
	Conc_Plan	0,296767918	0,135757911	0,161010007	0,39750216	0,333115856	0,064386303
	Basalto_Plan	0,138808269	0,282402182	-0,143593912	0,202825118	0,161732869	0,041092248
	1ºAmia_Pqe	0,217405574	0,265554584	-0,04814901	0,202825118	0,040844141	0,161980976
	2ºAmia_Pqe	0,465803588	0,267315014	0,198488574	0,186910837	0,197591632	-0,010680795
	Alozinco	0,906818764	0,495479269	0,411339495	0,152310325	0,264129238	-0,111818913
	EstTer_Bib	0,395483751	0,213675129	0,181808622	0,124311431	0,160595546	-0,036284115
	Conc_Biblio	0,440289127	0,256081225	0,184207902	0,09518719	0,188197127	-0,093009937
	EstTer_Arco	0,568450135	0,254388643	0,314061492	0,149203666	0,16242617	-0,013222503
	Asfa_Roraima	0,210843898	0,279967058	-0,06912316	0,191315898	0,165419764	0,025896135
	Gran_Arco	0,414777335	0,268336428	0,146440908	0,255936065	0,195116387	0,060819678
	Conc_Posto	0,334991081	0,36184215	-0,026851069	0,215679769	0,270555713	-0,054875944
	Asfa_FxVel	0,223756541	0,303532734	-0,079776193	0,158854214	0,175496595	-0,016642381
	Grama_Rot	0,215619139	0,24800325	-0,032384111	0,107840536	0,138093063	-0,030252527
	Basal_ParRor	0,269155552	0,286369878	-0,017214326	0,158871889	0,185660896	-0,026789007
	Asfa_FxNova	0,240787848	0,27992658	-0,039138732	0,14049856	0,194263278	-0,053764718
ESPECTRORADIOMETRO 3	Metal_Etnias	0,226805316	0,368140238	-0,141334921	0,134615513	0,149936955	-0,015321441
	Concre_Poli	0,412597188	0,409224462	0,003372726	0,708478677	0,497177985	0,211300692
	Amian_Pol	0,24792459	0,327826064	-0,079901474	0,333618716	0,232620643	0,100998073
	Gran_Pol	0,121423671	0,230345637	-0,108921966	0,091269933	0,153873113	-0,062603179
	Gram_Plan	0,048456555	0,244380851	-0,195924296	0,081295519	0,126719574	-0,045424055
	Lago_Reit	0,036888439	0,363419261	-0,326530822	0,069011566	0,191697742	-0,122686176
	Conc_Plan	0,17637799	0,135757911	0,040620079	0,251964624	0,333115856	-0,081151232
	Basalto_Plan	0,097954182	0,282402182	-0,184447999	0,150356452	0,161732869	-0,011376418
	1ºAmia_Pqe	0,192687607	0,265554584	-0,072866977	0,150356452	0,040844141	0,10951231
	2ºAmia_Pqe	0,36693699	0,267315014	0,099621976	0,145834403	0,197591632	-0,05175723
	Alozinco	0,910682166	0,495479269	0,415202897	0,199427042	0,264129238	-0,064702196
	EstTer_Bib	0,243351801	0,213675129	0,029676673	0,100124583	0,160595546	-0,060470963
	Conc_Biblio	0,332024383	0,256081225	0,075943158	0,140177359	0,188197127	-0,048019768
	EstTer_Arco	0,332330383	0,254388643	0,077941741	0,197298091	0,16242617	0,034871922
	Asfa_Roraima	0,171127713	0,279967058	-0,108839345	0,300978758	0,165419764	0,135558994
	Gran_Arco	0,277949846	0,268336428	0,009613419	0,161766244	0,195116387	-0,033350143
	Conc_Posto	0,27336211	0,36184215	-0,08848004	0,173915041	0,270555713	-0,096640672
	Asfa_FxVel	0,185878255	0,303532734	-0,117654479	0,126824712	0,175496595	-0,048671884
	Grama_Rot	0,1365902	0,24800325	-0,11141305	0,071376361	0,138093063	-0,066716701
	Basal_ParRor	0,213204498	0,286369878	-0,07316538	0,124684751	0,185660896	-0,060976145
	Asfa_FxNova	0,202581833	0,27992658	-0,077344747	0,118197826	0,194263278	-0,076065453
ESPECTRO	Metal_Etnias	0,843808637	0,368140238	0,4756684	0,284824989	0,149936955	0,134888034
	Concre_Poli	0,41585024	0,409224462	0,006625778	0,450451571	0,497177985	-0,046726414
	Amian_Pol	0,427048314	0,327826064	0,09922225	0,367559532	0,232620643	0,134938889
	Gran_Pol	0,256584041	0,230345637	0,026238404	0,114913577	0,153873113	-0,038959536
	Gram_Plan	0,164213273	0,244380851	-0,080167579	0,186633139	0,126719574	0,059913565
	Lago_Reit	0,001586421	0,363419261	-0,36183284	0,000801592	0,191697742	-0,19089615

RADIOMETRO 30	Conc_Plan	0,261365272	0,135757911	0,125607361	0,211511259	0,333115856	-0,121604597
	Basalto_Plan	0,16773015	0,282402182	-0,114672032	0,160144973	0,161732869	-0,001587896
	1ºAmia_Pqe	0,355845069	0,265554584	0,090290484	0,160144973	0,040844141	0,119300832
	2ºAmia_Pqe	0,386996897	0,267315014	0,119681883	0,343162865	0,197591632	0,145571233
	Alozinco	0,762881735	0,495479269	0,267402466	0,117858625	0,264129238	-0,146270613
	EstTer_Bib	0,276372551	0,213675129	0,062697422	0,127000014	0,160595546	-0,033595531
	Conc_Biblio	0,303741559	0,256081225	0,047660334	0,14251746	0,188197127	-0,045679667
	EstTer_Arco	0,406894852	0,254388643	0,152506209	0,233163788	0,16242617	0,070737618
	Asfa_Roraima	0,136006223	0,279967058	-0,143960835	0,320884525	0,165419764	0,155464761
	Gran_Arco	0,254692442	0,268336428	-0,013643985	0,241737046	0,195116387	0,046620659
	Conc_Posto	0,169819466	0,36184215	-0,192022684	0,179521752	0,270555713	-0,091033961
	Asfa_FxVel	0,140538143	0,303532734	-0,162994591	0,174415177	0,175496595	-0,001081418
	Grama_Rot	0,175273134	0,24800325	-0,072730116	0,139312881	0,138093063	0,001219819
	Basal_ParRor	0,176306826	0,286369878	-0,110063052	0,171616547	0,185660896	-0,014044349
	Asfa_FxNova	0,12892046	0,27992658	-0,15100612	0,119117871	0,194263278	-0,075145408
		Soma dos Resíduo		-0,286977157	Soma dos Resíduos		-0,085173922