

TÉCNICAS RADIOMÉTRICAS COM O SPECTRON SE-590

CARLOS ALBERTO STEFFEN

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Laboratório de Radiometria - LARAD

Caixa Postal 515

12201.970 - São José dos Campos - SP - Brasil

email: steffen@ltd.inpe.br

Abstract: The measurement of reflectance spectra is needed to understanding the nature of the interactions between solar radiant energy and natural objects. The field radiometry is a difficult task due to the need of sampling areas that must be large enough to enclose the target's complexity. Furthermore, it is very important to access and move through the sampling areas as fast as possible to avoid significant changes in the solar illumination. To fulfill these requirements, some techniques and systems for field radiometry were developed at the Laboratory for Radiometry - LARAD of INPE using a Spectron SE-590 spectral radiometer. The portability and fast acquisition time make this radiometer a powerful system for the field measurement of reflectance spectra. These techniques and systems have been used by many specialists engaged with remote sensing and have been very effective under the different conditions that they were applied.

1. Introdução

O Laboratório de Radiometria - LARAD, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, foi implantado com o objetivo de incentivar o desenvolvimento de sistemas e técnicas radiométricas, bem como estabelecer as condições adequadas para as pesquisas relacionadas com o comportamento espectral de objetos de interesse em Sensoriamento Remoto. Equipado com vários tipos de espectrorradiômetros, sistemas de calibração, programas e computadores, o LARAD tem fornecido apoio aos trabalhos de pesquisadores e especialistas em Sensoriamento Remoto bem como a estudantes de pós-graduação brasileiros e internacionais.

O aperfeiçoamento das técnicas de aquisição e interpretação de imagens de Sensoriamento Remoto tem exigido uma melhor compreensão dos fenômenos relacionados com a interação da energia radiante com os objetos da superfície terrestre. Os modelos que permitem prever o comportamento espectral decorrente das propriedades físicas, químicas e biológicas desses objetos, necessitam das medidas de seus espectros de reflectância em condições de campo, onde a iluminação solar e as condições das amostras são mais adequadas.

Um dos maiores problemas da radiometria de campo está relacionado com a necessidade da medição de áreas amostrais, com dimensões adequadas à natureza e geometria de objetos de difícil acesso, como no caso de florestas e corpos d'água. Para atender essas

necessidades, foram desenvolvidos no LARAD sistemas e técnicas para a medição do fator de reflectância bidirecional espectral, que se utilizam do espectrorradiômetro portátil SPECTRON SE-590, fabricado pela empresa norte-americana Spectron Eng. Inc. Estas técnicas tem se mostrado bastante adequadas e eficientes em diversas situações em campo em que foram empregadas.

2. Reflectância

A **reflectância bidirecional espectral (RBE)** é a grandeza utilizada com maior frequência na modelagem ou na caracterização das assinaturas espectrais dos objetos terrestres; entretanto, esta grandeza radiométrica é de difícil medição e, por isso, costuma ser substituída por uma quantidade equivalente denominada **fator de reflectância bidirecional espectral (FRBE)**, cujo processo de medição é bem mais simples.

O fator de reflectância bidirecional espectral é a razão entre as radiâncias espectrais da amostra e de uma superfície lambertiana ideal nas mesmas condições de iluminação e observação (Milton, 1987). Do ponto de vista experimental, para que a medida do fator de reflectância seja compatível com essa definição, é conveniente:

1. usar uma representação material da superfície lambertiana; na prática, isso pode ser realizado através de uma placa de referência recoberta com Sulfato de Bário

(BaSO₄) ou Óxido de Magnésio (MgO) e calibrada com relação a um padrão de laboratório cuja reflectância espectral seja conhecida.

2. considerando a dificuldade de se medir simultaneamente os espectros do objeto e da referência, o intervalo entre as aquisições deve ser o menor possível afim de evitar variações nas condições de iluminação. Neste aspecto, o sistema SE-590 mostra-se bastante adequado pois o seu intervalo entre medições é de apenas alguns segundos.

Satisfeitas estas condições, o fator de reflectância bidirecional espectral pode ser obtido da equação:

$$R(\theta, \phi, \lambda) = L_{a, \lambda} / L_{r, \lambda} \quad 1$$

onde $L_{a, \lambda}$ e $L_{r, \lambda}$ representam as medidas das radiâncias relativas da amostra e da referência respectivamente.

3. O Spectron SE-590

O SPECTRON SE-590 é um espectrorradiômetro portátil para medição de campo e constituído de duas partes: uma unidade controladora (data-logger/CE-500) e uma unidade detectora (SE-390WB).

A unidade controladora tem eletrônica baseada em microprocessador e num conjunto de instruções armazenadas em memória EPROM. A programação do sistema é realizada através de um teclado multifuncional de 4 níveis e um display que permitem preparar o equipamento para as várias modalidades de medição (médias, tempo de integração, gravação automática, aquisição periódica, etc.) e ainda para a saída dos dados.

Um conversor A/D de 12 bits e um gravador registram, em fita cassete miniatura, os espectros digitalizados contendo cada um 256 valores de amplitude inclusive os dados auxiliares (data, hora, tempo de integração, etc.). Esta fita cassete é lida posteriormente no mesmo gravador e o seu conteúdo transferido para um computador através da porta serial RS-232C. Outra característica conveniente da unidade controladora é a sua capacidade de acionar, de modo seletivo, até duas unidades detectoras e de disparar uma câmara fotográfica motorizada, de modo sincronizado com a medição, para documentação da área amostral.

A unidade detectora tem a sua construção baseada em uma rede de difração combinada com uma matriz linear de 256 detectores de silício (CCD). Esse conjunto permite a medição de espectros de radiância na faixa de 350 à 1100nm com uma resolução espectral de 8 nm (FWHP).

O campo de visada padrão da unidade detectora é de 6° entretanto, pode ser modificado para 1, 15 ou 180° (coletor coseno), através de dispositivos ópticos

adicionais. Duas unidades detectoras podem ser ligadas à unidade controladora, através de cabos de até 15m.

A energia elétrica para o SE-590 é fornecida por um conjunto de baterias internas recarregáveis de Níquel Cádmio (NiCd) entretanto, o sistema também pode ser alimentado por baterias externas de 12 VDC ou pela rede elétrica de 110/220VAC através de um conversor e carregador de bateria para 110/220 VAC.

4. O Sistema ME-1

Para a medida dos fator de reflectância de objetos de pequena altura (menor que 1 metro), como no caso de solos e culturas de trigo, arroz, soja etc., foi desenvolvido o sistema ME-1: um mastro de alumínio, desmontável e em forma de L invertido, com 3 metros de altura.

Como pode-se ver na figura 1, na extremidade do braço horizontal do mastro é fixa, através de um sistema de acoplamento rápido, uma placa com duas unidades detectoras SE-390WB. Essas unidades estão montadas com seus eixos ópticos paralelos e seus campos de visada (de 15° ou menos) orientados respectivamente para a amostra e para uma pequena placa de referência recoberta com sulfato de bário (BaSO₄), na extremidade de uma haste fixa na placa. A unidade que é apontada para a amostra pode ter a orientação de seu eixo óptico ajustada de 0 até 45° em intervalos de 5 graus. Na placa de instrumentos pode ser acoplada uma câmara fotográfica que é acionada para a documentação da área amostral.

O sistema ME-1 é operado por duas pessoas, uma das quais mantém o mastro na posição vertical de forma que um dos radiômetros seja apontado para a amostra. Nesse momento, o braço horizontal do mastro deve estar orientado para a direção do Sol, para que não ocorram sombras sobre a amostra. A segunda pessoa opera a unidade controladora e aciona sucessivamente as duas unidades detectoras para obter os espectros de radiância relativa da amostra e da placa de referência (no menor intervalo de tempo possível) armazenando-os na fita cassete do gravador. Em geral, são medidos no mínimo 3 pares de espectros (amostra e referência) para cada área de amostragem ou tipo de objeto. Se as áreas são próximas uma da outra, o mastro pode ser transportado com facilidade sem ser desmontado.

Considerando que a placa de referência, utilizada em campo, não é um refletor lambertiano ideal, esta deve ser calibrada em relação a um padrão de reflectância conhecida. Essa calibração pode ser realizada medindo-se, em condições de laboratório, os espectros das radiâncias relativas da placa de referência (L_r) e de uma placa padrão (L_p) sob idênticas condições de ilu-

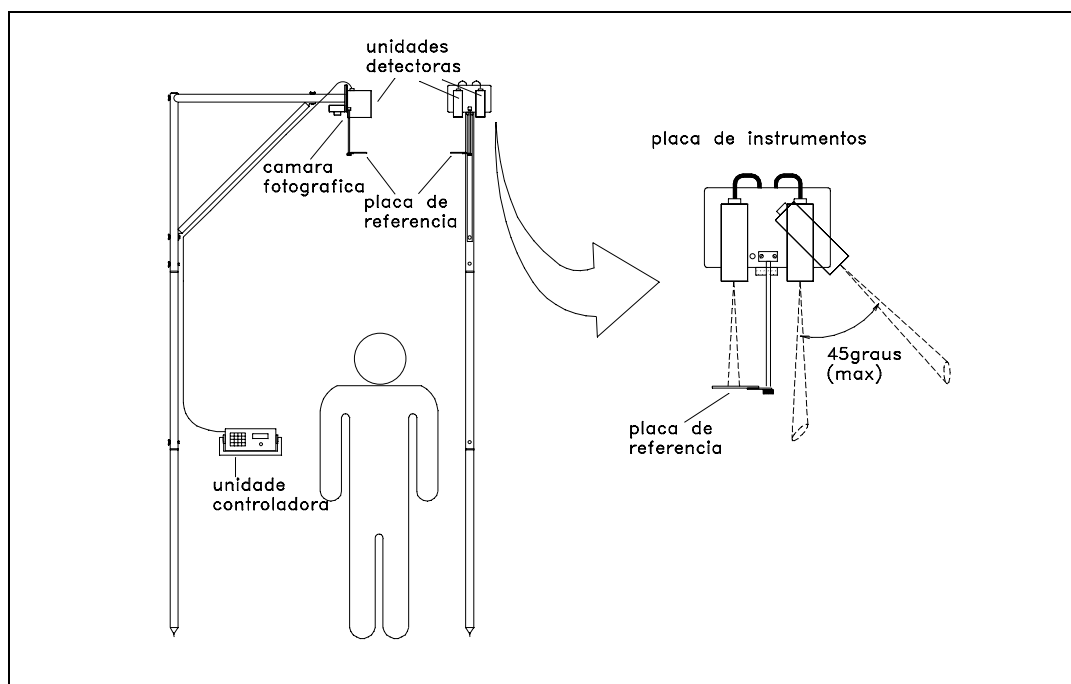


Figura 1. O Sistema ME-1

minação e visada. Os fatores de calibração espectrais da placa de referência, são então obtidos da equação:

$$K_{\lambda} = L_{p,\lambda} / L_{r,\lambda} \quad 2$$

estes fatores, quando multiplicados pelas amplitudes das radiâncias relativas da placa de referência, tornam seus valores equivalentes aos que seriam obtidos se em seu lugar fosse utilizada a placa padrão.

Para compensar as diferenças de sensibilidade dos conjuntos de detectores das unidades ópticas, estas são intercalibradas através da medição (com as duas unida-

des) do espectro de radiância de uma mesma superfície (por exemplo: a radiância da placa padrão iluminada por uma fonte halógena). Neste caso, os fatores espectrais de intercalibração (I_{λ}), que devem ser aplicados sobre os espectros obtidos com a unidade detectora da referência, são dados pela relação:

$$I_{\lambda} = L(\text{amostra})_{,\lambda} / L(\text{referência})_{,\lambda} \quad 3$$

onde os valores de L são as radiâncias relativas medidas com as unidades indicadas nos parênteses. Quando um espectro, medido com a unidade detectora da referência, é multiplicado pelo espectro dos fatores de intercalibração, aquele se torna equivalente ao que seria obtido se a sua medida fosse feita com unidade detectora que é utilizada para a amostra.

Com base nas equações anteriores as amplitudes dos fatores de reflectância espectral, são então obtidos com base na seguinte equação:

$$R(\theta,\phi,\lambda) = L_{a,\lambda} / I_{\lambda} \cdot K_{\lambda} \cdot L_{r,\lambda} \quad 4$$

onde θ e ϕ indicam o ângulo zenital e o azimute da iluminação, supondo que a observação seja vertical. Na figura 4 pode-se ver assinaturas espectrais de amostras de solo e grama, obtidas com o sistema ME-1.

5. O Sistema ME-1 embarcado

O comportamento espectral dos corpos d'água é relacionado com a natureza do material dissolvido e em suspensão no seu interior; portanto, os espectros de radiância da água constituem importantes indicadores de sua qualidade. A radiância espectral da água é formada pelas seguintes componentes:

1. radiância emergente que resulta dos efeitos de interação (absorção e espalhamento) da radiação solar com os elementos dissolvidos e em suspensão no corpo d'água.
2. radiância do céu especularmente refletida na superfície da água na direção do sensor.
3. radiância resultante de reflexos do fluxo de radiação solar produzidos por perturbações da superfície da água causadas pelo vento (glitter).

A radiância dos corpos d'água é fortemente influenciada pelas geometrias de iluminação e medição e, por isso, é bastante conveniente utilizar alguma forma de medida normalizada como no caso dos espectros do fator de reflectância bidirecional espectral.

Os espectros da água podem ser obtidos com bastante eficiência pelo sistema SPECTRON SE-590 insta-

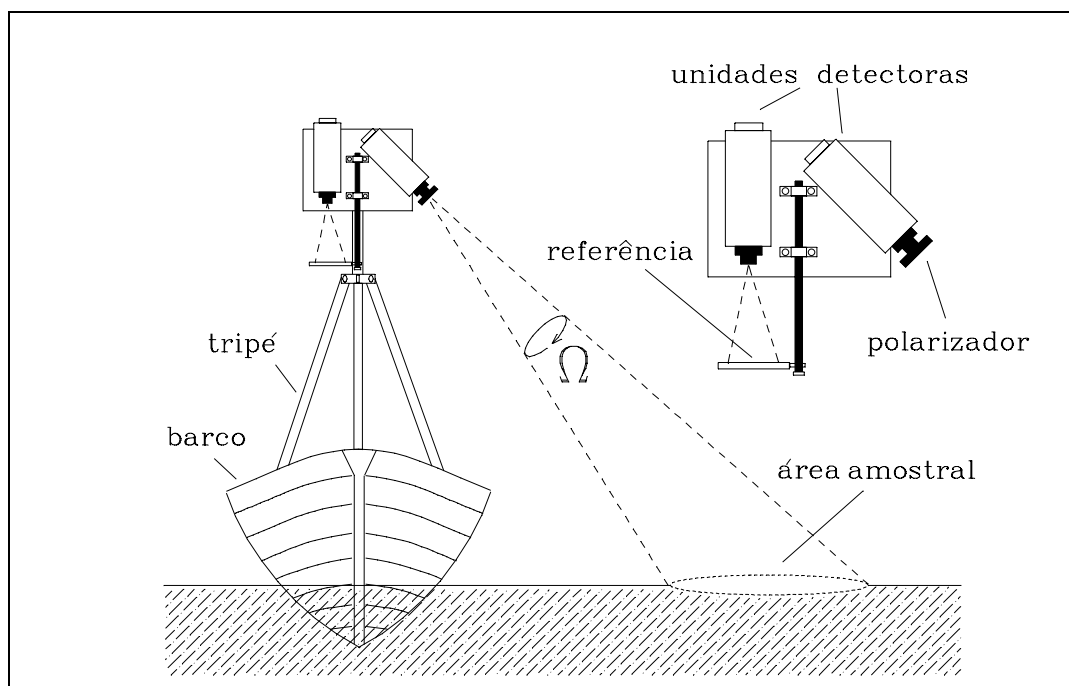


Figura 2. O Sistema ME-1 Embarcado

lado em um barco. Nesse caso, a mesma placa suporte utilizada o mastro ME-1, com duas unidades detectoras, é instalada em um tripé fixo na proa do barco, como mostra a figura 2. Uma das unidades é apontada para a pequena placa de referência (recoberta com BaSO₄), enquanto que, a outra é apontada para a água, sob um ângulo de 45°, de forma que a área amostral fique afastada do barco. Na segunda unidade detectora é instalado um filtro polarizador orientado de forma a minimizar a amplitude da radiância do céu, especularmente refletida pela superfície da água na direção do radiômetro.

Para reduzir os efeitos dos reflexos (glitter) gerados pelas ondulações causadas pelo vento na superfície da água, o barco é orientado de forma que sua proa fique alinhada com a direção do Sol e a área amostral de medição situada na sua lateral. O Spectron SE-590 é preparado para realizar quatro medidas espectrais sucessivas de cada amostra e gravar o espectro médio resultante.

A atenuação causada pelo filtro polarizador é compensada no processo de intercalibração das duas unidades detectoras. Os pares de espectros da radiância da água e da placa de referência são medidos em pelo menos 3 amostras selecionadas aleatoriamente.

Como no caso do mastro ME-1, os espectros gravados são transferidos para um computador onde, através do programa ESPECTRO, podem ser calibrados de acordo com a equação 4 e reduzidos para formatos mais adequados para os programas de tratamento numé-

numérico de dados experimentais. Na figura 4 pode-se ver um espectro de reflectância, obtido com sistema ME-1 embarcado, das águas do canal do rio Tocantins no reservatório de Tucuruí no Pará; em geral, os espectros de água são limitados à faixa de 400 à 800 nm onde o fator de reflectância é mais significativo.

6. O Sistema SADA

As situações em que o sistema ME-1 pode ser utilizado estão geralmente associadas aos casos em que as amostras, e portanto, o campo de visada, podem ter menos que 1 metro de diâmetro e a amostragem se estende por uma pequena região onde o sistema pode ser deslocado com facilidade. Quando a amostragem deve ser feita com um campo de visada mais abrangente (com vários metros de diâmetro), ou quando deve ser realizada numa extensa região, a solução mais conveniente é a utilização do **Sistema de Aquisição de Dados Aerotransportado**, o SADA (Steffen et Al., 1992a).

Como se pode observar na figura 3, o SADA é constituído por um casulo (módulo externo) que é instalado, através de uma interface metálica, no suporte de fixação de cargas do helicóptero ESQUILO. Esse casulo contém no seu interior uma mesa de instrumentos, articulada de forma a compensar automaticamente o movimento de arfagem da aeronave e manter constante o apontamento vertical dos instrumentos. Nesta mesa são instaladas uma unidade detectora do SE-590 e uma câmara fotográfica motorizada que pode ser acionada pela unidade controladora no instante da medição (ex-

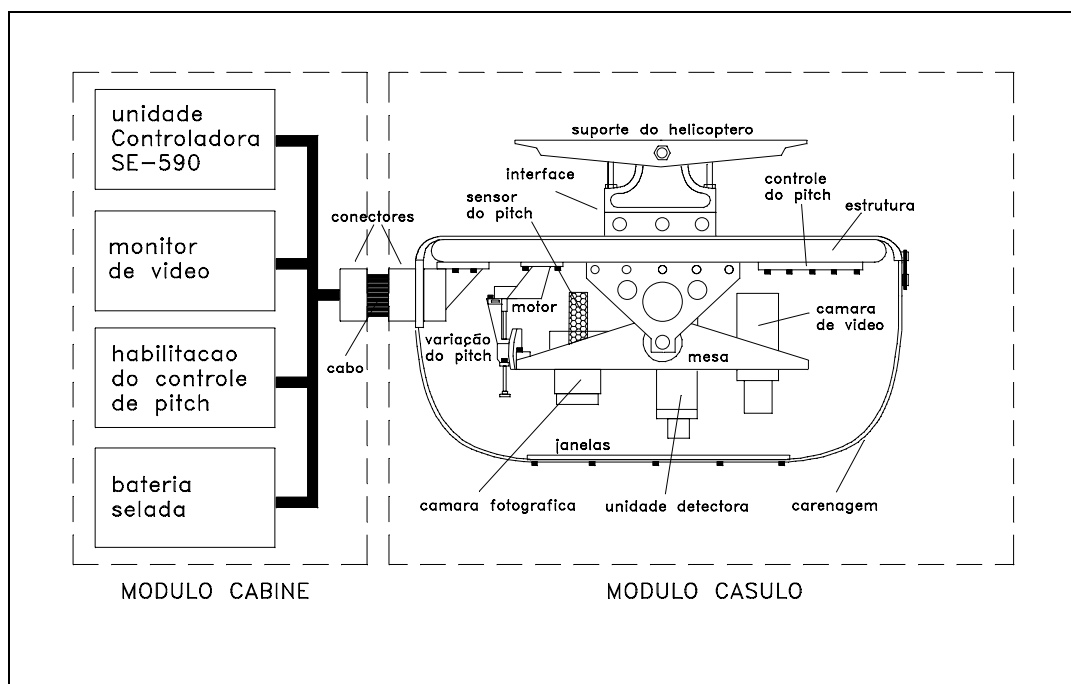


Figura 3. O Sistema de Aquisição de Dados Aerotransportado

iste opção para instalação de uma câmara de vídeo na mesa). O módulo interno é constituído pela unidade controladora do SE-590 e um microcomputador portátil que comanda o sistema e armazena os espectros obtidos. Todos os componentes do sistema são alimentados por uma bateria central de 12V/6AH.

A aquisição dos espectros de referência para as medidas do sistema aerotransportado, é feita por um segundo radiômetro SE-590, equipado com uma unidade detectora instalada em um tripé, e montado na posição central da área de trabalho. Neste caso, os sistemas aéreo e de terra tem seus relógios internos sincronizados e são acionados simultaneamente pelos operadores através de comunicação por rádio.

A medida de cada amostra com o SADA é realizada em vôo pairado para a aquisição de espectros em três ou quatro posições que são seleccionadas por deslocamentos aleatórios do helicóptero. A altura de vôo é determinada em função da dimensão necessária para a área amostral (campo de visada), ficando entretanto, limitada pela altura em que rotor do helicóptero não produz perturbações na amostra, enquanto que a altura máxima é determinada pelas limitações operacionais da aeronave.

Para minimizar os efeitos decorrentes da instabilidade do vôo pairado, é conveniente programar o sistema para realizar pelo menos 4 medidas sucessivas de cada amostra e armazenar o espectro médio obtido.

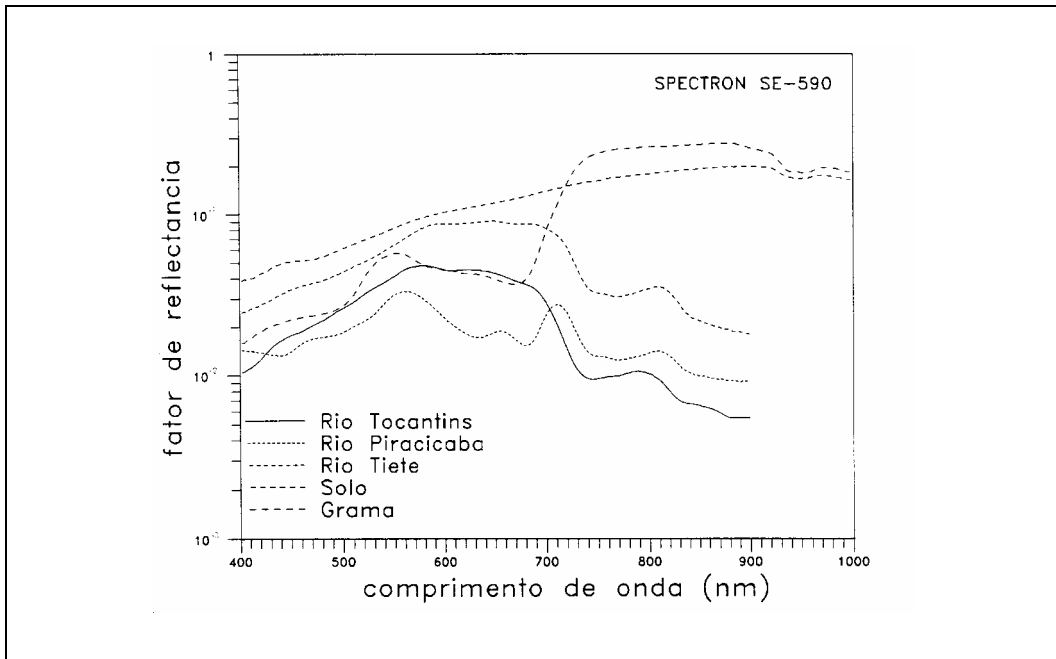


Figura 4. Assinaturas espectrais obtidas com o Spectron SE-590

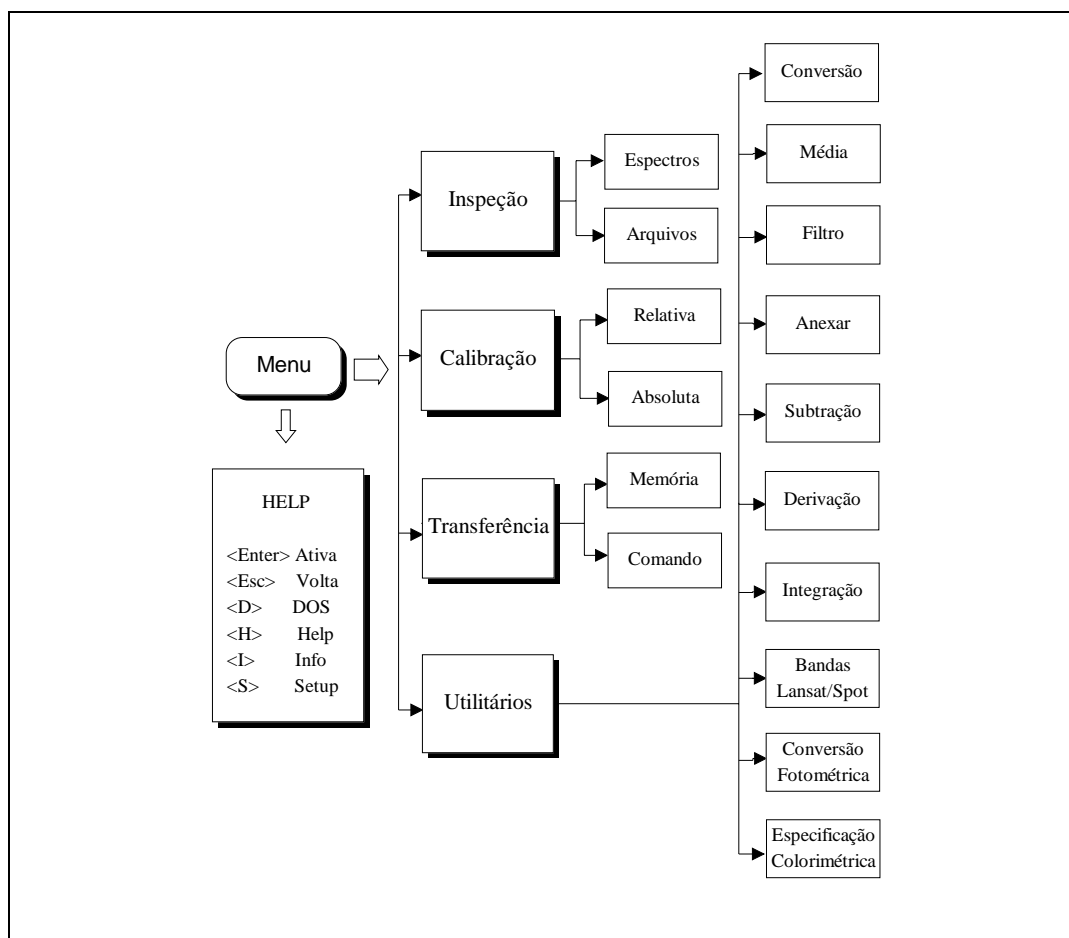


Figura 5. O Programa Espectro

Da mesma forma que nos casos anteriores, as operações de medição com o SADA são precedidas da intercalibração das unidades detectoras e da calibração da placa de referência.

Alguns espectros do fator de reflectância da água, obtidos com o SADA nos rios Tietê (d) e Piracicaba (e) na represa de Barra Bonita (SP) podem ser observados na figura 4 (Steffen et al., 1992a).

7. O programa ESPECTRO

Após os trabalhos de medição com o sistemas que utilizam o SE-590, a fita cassete digital é lida no gravador da unidade controladora e os espectros são transferidos para um arquivo no computador onde podem ser processados. Para maior eficiência desse processo, pode-se utilizar o programa ESPECTRO (Steffen et al., 1992b), que oferece várias alternativas para a redução dos espectros como mostra o fluxograma da figura 5.

De modo geral, após a transferência os espectros das amostras são calibrados com relação aos respectivos espectros das referências; a seguir são aplicados os

fatores de calibração da placa de referência e de intercalibração das unidades detectoras. Os fatores de reflectância espectral resultantes, podem então, ser processados para a geração dos espectros médios e convertidos em arquivos de formatos compatíveis com outros programas de tratamento de dados de processos experimentais.

8. Referências bibliográficas

- Milton, E. J. Principles of Field Spectroscopy. Int. J. Remote Sensing, 1987. Vol.8, no.12, 1807-1827.
- Steffen, C.A.; F. F. Gama; E.M.L.M. Avaliação Operacional do Sistema de Aquisição de Dados Aerotransportado - SADA. O Experimento Barra Bonita. INPE 5451- NTC/305-1992a.
- Steffen, C.A.; J.L.de Oliveira; F.F. Gama. O Programa Espectro. In: Anais do VII SBSR.V3(138-144). 1992b.
- Steffen, C.A. Reflectância. INPE-5638-PUD/070-1995.
- Steffen, C. A.; E. C. Moraes. Spectron SE-590 - Manual de Referência. INPE 5647-MAN/05-1995.