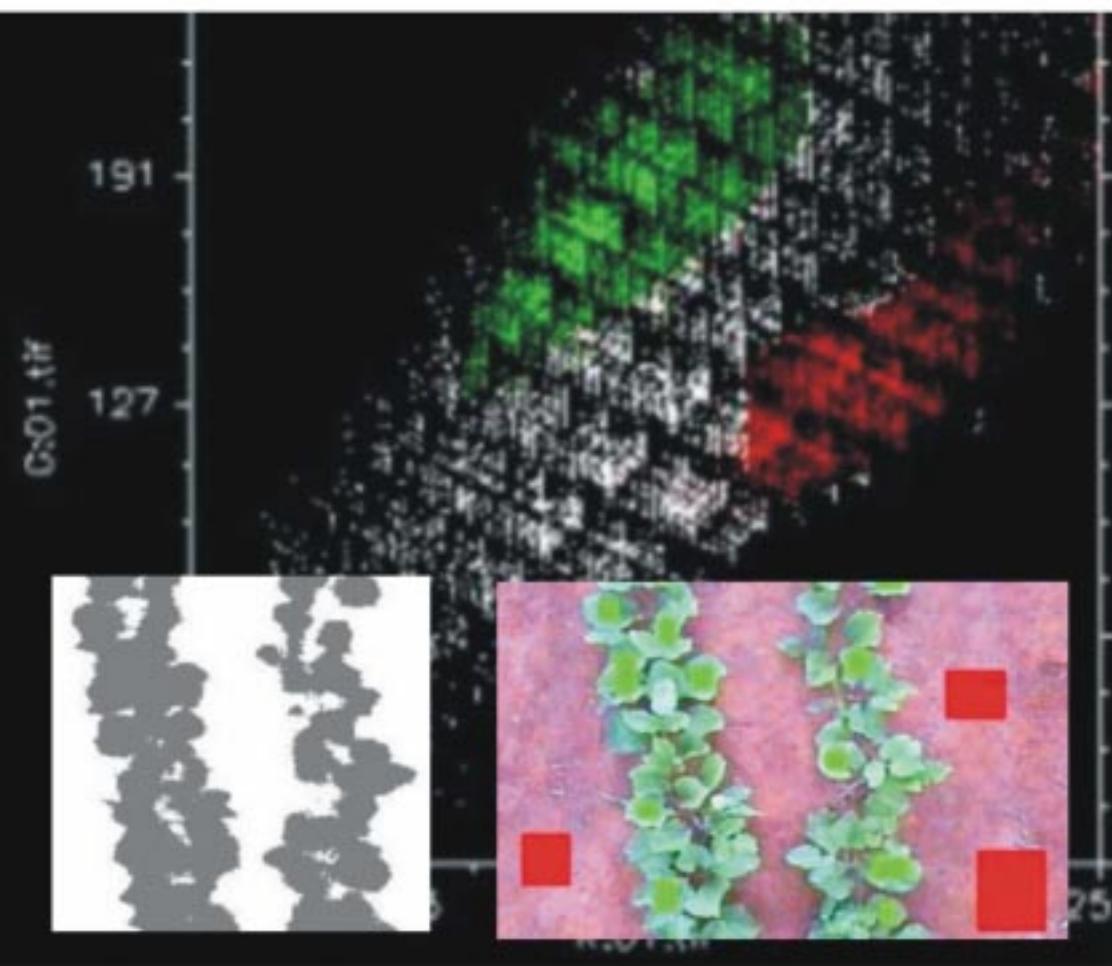


Uso de Imagens Digitais na Avaliação do Crescimento da Taxa de Cobertura do Solo





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1676-918X

Dezembro, 2001

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 21

Uso de Imagens Digitais na Avaliação da Cobertura do Solo

Manuel E. Ferreira
Leide R. M. de Andrade
Edson E. Sano
Arminda M. de Carvalho
Nilton T. V. Junqueira

Planaltina, DF
2001

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73301-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Ronaldo Pereira de Andrade*

Secretária-Executiva: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Membros: *Maria Alice Bianchi, Leide Rovênia Miranda de Andrade, Carlos Roberto Spehar, José Luiz Fernandes Zoby*

Supervisão editorial: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira /
Jaime Arbués Carneiro*

Normalização bibliográfica: *Maria Alice Bianchi*

Capa: *Chaile Cherne Soares Evangelista*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

1ª edição

1ª impressão (2001): tiragem 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.
Embrapa Cerrados.

U86 Uso de imagens digitais na avaliação da cobertura do solo / Manuel E. Ferreira [et al.] ... – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2001. 50 p. — (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; 21)

1. Imagem digital - processamento. 2. Processamento de imagem. 3. Solo - cobertura - imagem digital. I. Ferreira, Manuel E. II. Série.

621.36 - CDD 21

Sumário

Introdução	7
Referencial Teórico	8
Fundamentos de sensoriamento remoto	8
Estrutura de uma imagem digital	12
Resolução dos sistemas imageadores	13
Processamento digital de imagens	17
Procedimentos Metodológicos	29
Aquisição de imagens	29
Material	30
Uso de Imagens Digitais na Avaliação da Cobertura do Solo	32
Características do experimento	32
Registro e processamento das imagens	33
Resultados	34
Considerações Finais	36
Referências Bibliográficas	36
Anexo	41

Uso de Imagens Digitais na Avaliação da Cobertura do Solo

Manuel E. Ferreira¹; Leide R. M. de Andrade²;
Edson E. Sano³; Arminda M. de Carvalho⁴;
Nilton T. V. Junqueira⁵.

Resumo – Existem vários métodos para avaliar o crescimento da vegetação e a taxa de cobertura do solo. Medidas precisas e rápidas podem ser obtidas do tratamento digital de imagens geradas de câmeras fotográficas ou de vídeo. Há disponível, no mercado, diversos processadores de imagens que apresentam funções básicas semelhantes, mas com certas particularidades que poderão trazer maior benefício para o usuário, dependendo da aplicação. O **SPRING**, desenvolvido pelo INPE, é de domínio público, sendo mais abrangente do que um processador de imagens, incluindo funções de geoprocessamento. O **ENVI** foi desenvolvido para a análise de imagens multiespectrais e hiperespectrais, podendo também ser utilizado para o processamento de imagens obtidas de câmeras de vídeo, por exemplo. O **KS-300** é um conjunto de *hardware* e de *software* destinado ao processamento e à quantificação de imagens microscópicas, permitindo a captação direta das imagens geradas por meio de lupas, microscópios eletrônicos ou câmeras de vídeo. O **SIARCS** foi desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária para tornar mais ágil o processo de captação de dados de um sistema. Este trabalho apresenta os fundamentos teóricos básicos envolvidos na técnica de análise de imagens, com as principais características dos *softwares* citados acima e sua aplicação na quantificação da taxa de crescimento e da cobertura do solo por espécies vegetais.

Termos para Indexação: câmera de vídeo, ENVI; KS 300, SIARCS, SPRING.

¹ Bolsista UnB, manuel.ferreira@ig.com.br

² Eng. Agrôn., Ph.D., Embrapa Cerrados, leide@cpac.embrapa.br

³ Geól., Ph.D., Embrapa Cerrados, sano@cpac.embrapa.br

⁴ Eng. Agrôn., M.Sc., Embrapa Cerrados, arminda@cpac.embrapa.br

⁵ Eng. Agrôn., Ph.D., Embrapa Cerrados, junqueir@cpac.embrapa.br

Use of Digital Images in the Evaluation of the Covering of the Soil

Abstract – several methods Exist to evaluate the growth of the vegetation and the tax of covering of the soil. Necessary and fast measures can be obtained of the digital treatment of generated images of photographic cameras or of video. There is available, in the market, several processors of images that you/they present similar basic functions, but with certain particularities that can bring larger benefit for the user, depending on the application. SPRING, developed by INPE, it is of public domain, being including than a processor of images, including functions. ENVI was developed for the analysis of images multiespectrais and hiperespectrais, could also be used for the processing of obtained images of video cameras, for instance. The KS-300 it is a hardware group and software destined to the processing and quantification of microscopic images, allowing the direct reception of the images generated through magnifying glasses, electronic microscopes or video cameras. SIARCS was developed by Embrapa Agricultural Instrumentation to turn more agile the process of reception of data of a system. This work presents the basic theoretical foundations involved in the technique of analysis of images, with the main characteristics of the softwares mentioned above and his application in the quantification of the growth tax and of the covering of the soil for vegetable species.

Index terms: video camera, ENVI; KS 300, SIARCS, SPRING.

Introdução

Existem vários métodos de avaliação do crescimento e da eficiência da taxa e cobertura do solo. Um método muito utilizado é o da régua métrica ou corda de nylon, colocada em diagonal a uma área quadrangular, com marcas (nós) a cada 5 ou 10 cm para leitura da presença ou ausência de cobertura ([Sodré Filho, 2000](#); [Souza Jr. et al., 2001](#)). Entretanto, novas técnicas, utilizando instrumentos menos convencionais, têm sido desenvolvidas, visando à obtenção de medidas mais dinâmicas e precisas nas pesquisas de acompanhamento de coberturas vegetais. Um método bastante promissor tem sido o processamento digital de imagens, captadas, por exemplo, por câmeras de vídeo ou máquinas fotográficas ([Ferreira et al., 2001](#)).

O processamento digital de imagens vem sendo, há algum tempo, utilizado em trabalhos que envolvem estudos de raízes em perfis de solo ([Basso et al., 1997](#); [Silva et al., 2001](#)), medições de índices de área foliar ([Gardingen, 1999](#); [Meir et al., 1999](#)), avaliação do crescimento e da eficiência da cobertura do solo ([Andrade et al., 1999](#); [Damaso et al., 1999](#); [Ferreira et al., 2001](#)), estudos de biomassa ([Smith et al., 1999](#)), análise quantitativa e qualitativa de grãos como os de café ([Cunha et al., 2001](#)), entre outras aplicações.

Uma das principais vantagens, observadas no uso de imagens digitais, em comparação com métodos de medição tradicionais, refere-se ao registro permanente da área ou objeto de estudo. Isso possibilita, entre outras coisas, o refinamento dos resultados com novos processamentos ou análises multitemporais, com dados obtidos de diferentes épocas. Outro ponto positivo é a rapidez com que os resultados são obtidos, assim como o elevado grau de acurácia envolvido nos processamentos computacionais. Dependendo do nível de informações que uma imagem apresenta, esta pode ser interpretada ou classificada rapidamente, propiciando economia de tempo e custos operacionais.

Há disponível no mercado diversos *softwares* voltados para o processamento de imagens. Em geral, esses programas desempenham funções semelhantes, havendo, no entanto, certas singularidades que poderão trazer maior benefício para o usuário, dependendo dos objetivos, além de variar no custo de aquisição.

O **SPRING** (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), desenvolvido pelo INPE, é de domínio público, sendo mais abrangente do que

um processador de imagens, incluindo funções de geoprocessamento. O [ENVI](#) (*Environment for Visualizing Images*) foi desenvolvido para a análise de imagens multiespectrais e hiperespectrais, podendo também ser utilizado para o processamento de imagens captadas por câmeras de vídeo, por exemplo. O [KS-300](#) (*Kontron Imaging System*) é um conjunto de *hardware* e *de software* destinado ao processamento e à quantificação de imagens microscópicas, permitindo a captação direta das imagens geradas por meio de lupas, microscópios eletrônicos ou câmeras de vídeo. O [SIARCS](#) (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo) foi desenvolvido pela Embrapa Instrumentação Agropecuária, visando a agilizar a avaliação dos parâmetros de crescimento de sistema radicular e de cobertura vegetal.

A utilização de coberturas verdes, em consórcio com culturas anuais ou perenes, tem-se caracterizado como importante prática na manutenção das propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos destinados à agricultura na Região do Cerrado. O cultivo dessas plantas, entre as linhas de um plantio, por exemplo, podem auxiliar no aumento da matéria orgânica ou na redução da evapotranspiração, evitando também a perda de nutrientes pelo processo de lixiviação e de erosão ([Andrade et al., 1999](#); [Damaso et al., 1999](#)). Algumas das características desejáveis a essas espécies são, portanto, o rápido estabelecimento inicial e eficiência na cobertura do solo.

Neste trabalho, descreve-se e avalia-se o uso da técnica de análise de imagens digitais, obtidas de câmera de vídeo na quantificação da taxa de crescimento e da cobertura do solo por diferentes espécies vegetais.

Referencial Teórico

Imagens geradas por equipamentos fotográficos ou de vídeo, como é o caso da metodologia avaliada neste estudo, compartilham dos mesmos preceitos observados na aquisição de imagens por sensores instalados em satélites ou aeronaves. Nesse sentido, os fundamentos do sensoriamento remoto, comuns em ambas as escalas de informação, são tratados a seguir, visando a trazer melhor compreensão a respeito da técnica de análise de imagens digitais.

Fundamentos de sensoriamento remoto

[Lillesand & Kiefer \(1994\)](#) definem *sensoriamento remoto* como a ciência e a arte de obter informações acerca de um objeto, área ou fenômeno, sem que haja um contato físico entre estes e o sensor (ex.: olho humano, câmera fotográfica). Esse termo também está relacionado aos métodos que empregam a radiação

eletromagnética (REM) para detectar e medir as características de um alvo na superfície da Terra (Sabins, 1978).

Radiação eletromagnética

Entende-se por REM toda a energia com propriedades elétricas e magnéticas, movendo-se na velocidade da luz ($3 \times 10^8 \text{ m/s}^{-1}$), em um modelo de onda harmônico e senoidal (Figura 1). O termo *harmônico* implica que os componentes dessa onda são repetidamente espaçados ao longo do tempo (Sabins, 1978). Essa energia, refletida ou emitida pelo material presente na superfície, pode ser detectada por um sensor, tal como faz o olho humano (detecta a energia refletida no intervalo de luz visível) ou uma câmera de vídeo, sendo, em seguida, convertida em dados passíveis de interpretação, de acordo com a sua frequência e intensidade (Holz, 1985).

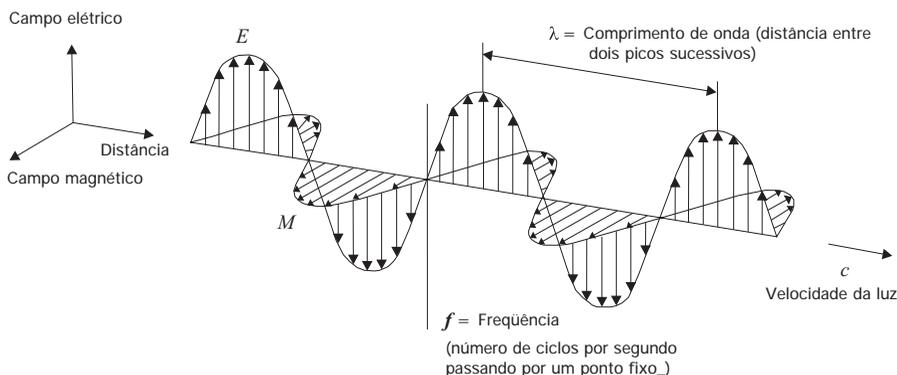


Figura 1. Uma onda eletromagnética, constituída por uma onda elétrica senoidal (E) e uma onda magnética similar (M) em ângulos retos, perpendiculares à direção de propagação.

Fonte: Modificada de Lillesand & Kiefer (1994).

Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético pode ser compreendido como um comprimento de onda contínuo da radiação eletromagnética, fragmentado nos seguintes intervalos (Holz, 1985): *Raio gama*, *Raio-X*, *Ultravioleta*, *Visível*, *Infravermelho* (IV), *I*, *Microondas* e *Rádio*. Para fins práticos do sensoriamento remoto (óptico, termal ou radar), normalmente são utilizados os intervalos espectrais do *Visível*, *Infravermelho* e *Microondas*. Na Figura 2, ilustra-se o espectro eletromagnético, com os respectivos intervalos de onda.

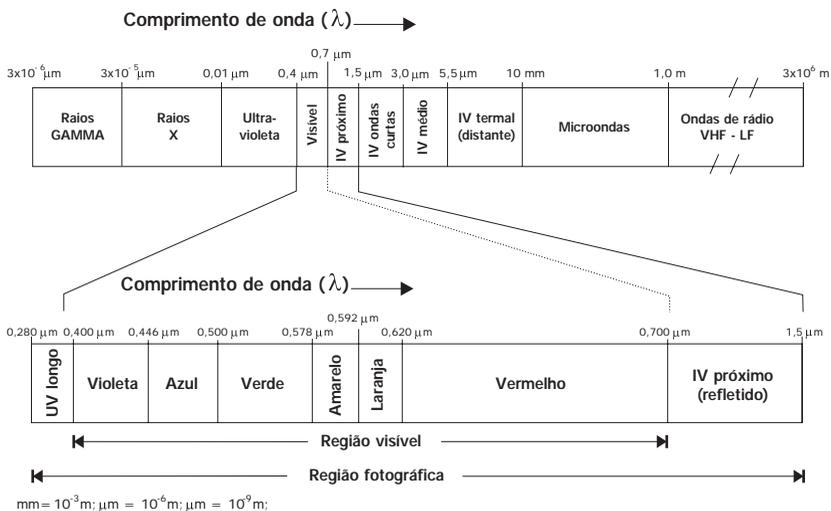


Figura 2. Representação do espectro eletromagnético.

Fonte: Modificada de [Holz \(1985\)](#).

Os equipamentos fotográficos (filmes com emulsão de cloreto de prata – AgCl) ou de vídeo captam a energia refletida nos intervalos espectrais do *Visível* e *Infravermelho próximo* (este último apenas com filme apropriado). Essa região do espectro eletromagnético (0,4 – 1,5 μ m), conhecida também como região óptica do espectro, apresenta a luz do Sol como fonte de energia natural (irradiância). Na prática, essa energia irradiada pelo Sol, após interação com a matéria, é captada por um sensor (ex.: câmera fotográfica), sendo então convertida numa imagem.

A câmera de vídeo convencional, embora com mecanismos diferenciados do sistema fotográfico, capta a maior parte da energia refletida pelos alvos no comprimento de onda da luz visível (0,4 – 0,7 μ m).

Bandas espectrais

Entende-se por *bandas espectrais* a delimitação da REM por meio de filtros especiais, ajustados durante o desenvolvimento do sensor em que apenas a energia captada em determinado intervalo do espectro eletromagnético será convertida em imagem. Normalmente, os fabricantes desses sensores “ajustam” as bandas espectrais de acordo com os objetivos do sensor construído, já que o posicionamento da banda espectral, assim como sua largura (na ordem de micrômetros ou nanômetros), pode auxiliar ou não na identificação de determinado elemento na superfície.

Interações da REM na atmosfera

A REM, em sua jornada até o sensor, sofre algumas interferências caracterizadas por absorção e/ou difusão da energia, devido à presença de alguns gases (ex.: O_3 , H_2O , CO_2) e particulados na atmosfera. Tal interferência, ausente em alguns intervalos do espectro eletromagnético (“janelas” atmosféricas), influencia no posicionamento das bandas espectrais dos sensores remotos (Figura 3) (Lillesand & Kiefer, 1994; Holz, 1985).

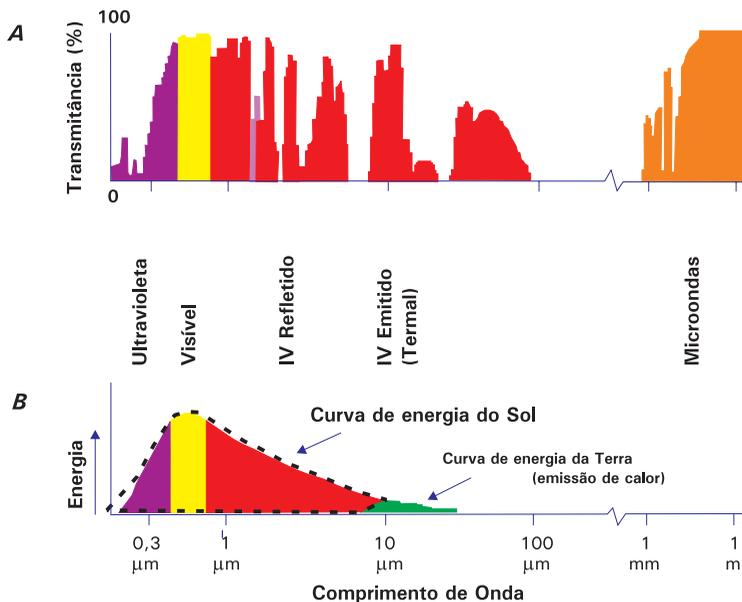


Figura 3. (A) absorção atmosférica da REM e respectivas janelas atmosféricas, ao longo dos intervalos espectrais. (B) Curva de energia do Sol e da Terra, ao longo dos intervalos espectrais.

Interações da REM com o material

Quando a radiação eletromagnética incide sobre a superfície de um alvo, três tipos básicos de interações são possíveis de ocorrer (Lillesand & Kiefer, 1994; Holz, 1985): (1) transmitância; (2) absortância; (3) reflectância. Na primeira, a REM atravessa o alvo (ex.: uma folha), com uma mudança na velocidade, de acordo com o índice de refração do material. Na Segunda, a REM é absorvida pelo alvo, sendo convertida em calor. Na terceira interação, a REM retorna para a atmosfera, com um ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão. Na [Figura 4](#), ilustram-se essas três interações da energia com o alvo.

Aplicando o princípio da conservação de energia, pode-se estabelecer uma inter-relação entre os três tipos de interações da REM, por meio da seguinte equação (Eq. 1):

$$E_i(\lambda) = E_r(\lambda) + E_a(\lambda) + E_t(\lambda) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde E_i representa a energia incidente; E_r a energia refletida; E_a a energia absorvida; e E_t a energia transmitida; (λ) representa o comprimento de onda da energia.



Figura 4. Três interações básicas entre a REM e o alvo (folha): transmitância (T); reflectância (R); e absortância (A). A energia incidente é representada pela letra (I).

Fonte: [Holz \(1985\)](#).

[Holz \(1985\)](#) define outras duas interações, decorrentes das primeiras, identificadas como difusão e emitância. Na primeira, a REM retorna para a atmosfera de forma randômica ou difusa, devido à geometria de superfície do alvo. Na segunda, a REM, absorvida e convertida em calor, é reemitida para a atmosfera; essa energia é captada no comprimento de onda do IV termal, por sensores especiais.

Estrutura de uma imagem digital

[Cruvinel et al. \(1996\)](#) definiram uma imagem como sendo o resultado de estímulos luminosos captados pelo olho humano em que cada ponto de uma cena (real ou fotográfica) está associado a uma informação de cor. Numa função bidimensional $i(x,y)$, x e y representam as coordenadas espaciais de um ponto na imagem e i um valor de intensidade ou cor desse ponto.

Dessa maneira, uma imagem pode ser compreendida como uma matriz de linhas (x) e colunas (y), convencionalmente numeradas de (1,1) partindo do canto superior esquerdo até (n, m) o canto inferior direito de uma malha reticulada ou

grade ([Schowengerdt, 1997](#)). Cada “célula” ou *pixel* (*picture element*) de uma grade possui um valor digital (*DN – Digital Number*), representando a intensidade média de energia eletromagnética refletida ou emitida pelos diferentes alvos na superfície imageada. Essa energia, captada pelos sensores (câmeras de vídeo, câmeras fotográficas, etc.), é convertida para uma escala de valores com 256 níveis de cinza (0 – 255), indo da cor preta (brilho mínimo) à cor branca (brilho máximo), respectivamente (Figura 5).

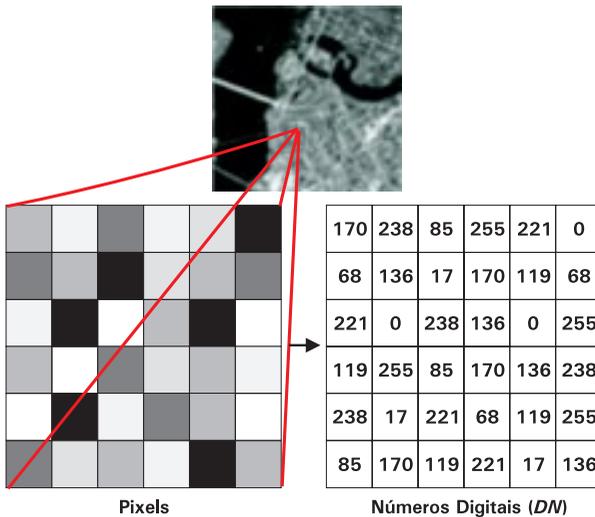


Figura 5. Amostra de *pixels* de uma imagem, com a respectiva grade de valores digitais, variando de 0 a 255 níveis de cinza.

Fonte: [Schowengerdt \(1987\)](#)

Resolução dos sistemas imageadores

Resolução espacial

A resolução espacial ou fotográfica é uma forma de expressar a qualidade óptica de uma imagem, produzida por determinado sensor (ex.: câmera de vídeo ou fotográfica). Essa resolução é influenciada por uma série de parâmetros, tais como o poder de resolução do filme, da lente utilizada na câmera para a obtenção da imagem, das condições atmosféricas durante a exposição do filme à REM, entre outros fatores ([Sabins, 1978](#)).

O critério mais adotado para quantificar a resolução espacial considera as propriedades geométricas do sensor, definidas pelo “campo de visada instantâneo” ou IFOV (*Instantaneous Field of View*). Esse, por sua vez, pode ser entendido como a área na superfície que é, em teoria, vista pelo

instrumento (sensor), numa dada altitude e num dado instante de tempo (Figura 6). Na imagem, cada *pixel* representa uma área com as mesmas dimensões na superfície observada (Crósta, 1993).

Assim, tais sensores podem apresentar uma resolução espacial bastante variada, dependendo dos propósitos de utilização do equipamento, do IFOV adotado e de outras características inerentes a eles.

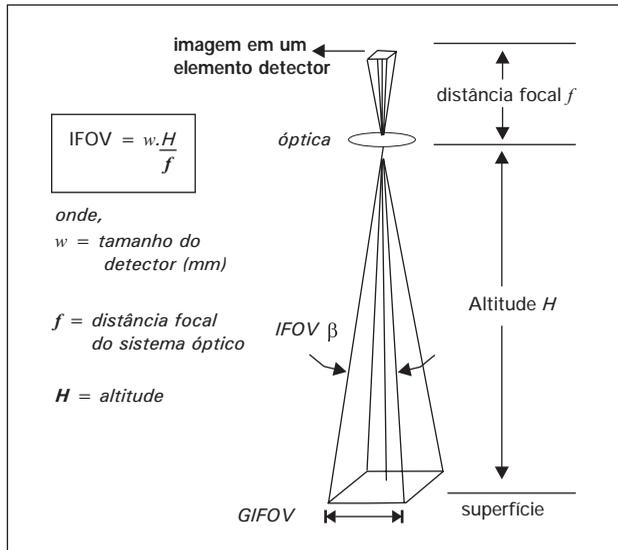


Figura 6. Resolução espacial quantificada a partir da área do IFOV numa superfície. *GIFOV* representa o tamanho do IFOV nessa superfície, medido em metros.
 Fonte: Modificada de [Schowengerdt \(1997\)](#).

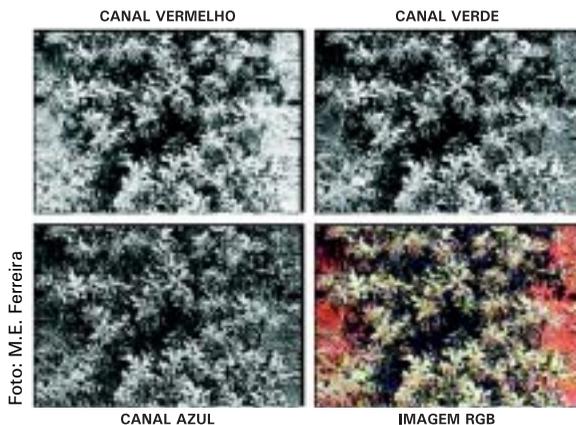
Resolução espectral

A resolução espectral de um sensor pode ser definida pela capacidade de ele registrar a radiação refletida ou emitida pelos alvos, simultaneamente, em diferentes comprimentos de onda ou intervalos do espectro eletromagnético. Em outras palavras, significa registrar várias imagens do mesmo alvo, ampliando a possibilidade de se extrair informações de um objeto ou de uma área na superfície. A essas imagens, dá-se o nome de multiespectral ou hiperespectral, dependendo do número de bandas (intervalos do espectro eletromagnético, cobertos por um determinado sensor).

Na realidade, uma imagem colorida (padrão **Red Green Blue**) é constituída de um conjunto de três imagens, obtido em diferentes intervalos do espectro

eletromagnético. Na Figura 7, observa-se essa situação, com a simulação de três bandas (azul, verde e vermelho) cobrindo o intervalo do espectro referente à luz visível, para uma imagem de cobertura vegetal (*guandu-anão*) obtida de câmera de vídeo. Nesse exemplo, a banda 1, teoricamente, localizada no comprimento de onda do azul, foi associada ao canal *B* do monitor, seguida pelas bandas 2 e 3, teoricamente, localizadas nos comprimentos de onda do verde e do vermelho para os canais *G* e *R* do monitor.

Figura 7. Simulação de três bandas (azul, verde e vermelha) de uma imagem de cobertura vegetal obtida por câmera de vídeo, cobrindo o intervalo do espectro eletromagnético referente à luz visível (0,4-0,7 μm). A distribuição dessas bandas no canal RGB do monitor produz uma imagem colorida.



Os sensores ópticos, com melhor resolução espectral, são aqueles que operam em vários intervalos do espectro eletromagnético, registrando, por exemplo, a REM no visível, IV próximo, IV de ondas curtas, IV termal, entre outras faixas espectrais. Dessa maneira, o comportamento espectral de um alvo na superfície será analisado em diferentes comprimentos de onda (imagens multiespectrais).

Outra característica, não menos importante, que também distingue a sensibilidade espectral dos sensores imageadores, diz respeito à largura (comprimento de onda) das bandas espectrais detectadas por esses sensores. Muitos materiais na natureza apresentam medidas de reflectância semelhantes umas às outras quando interagem com a REM; em geral, isto se deve à presença de uma estrutura química bastante parecida (mesmo elemento básico). Tal fato pode dificultar a identificação de alguns elementos presentes na superfície imageada tanto em uma análise visual da imagem quanto na análise dos espectros de reflectância desses elementos (“assinaturas”

espectrais). No entanto, diferenças discretas, conhecidas como bandas de absorção, podem ser notadas em pequenos intervalos (na ordem de nanômetros) do espectro eletromagnético desses alvos. Daí, a necessidade de o sensor cobrir grande parte do espectro eletromagnético, por meio de um número elevado de bandas com pequenos comprimentos de onda.

Resolução radiométrica

A resolução radiométrica pode ser definida pela capacidade de o sensor medir, com precisão, os diferentes níveis de radiância refletida pelos alvos na superfície. Em outras palavras, essa resolução é medida pelo número de valores digitais utilizados para expressar os dados coletados em uma imagem ([Meneses, 1995](#)). Em geral, quanto maior o número de valores digitais, mais nítida será uma imagem. Uma cena de 10 bits, por exemplo, apresenta 1024 níveis de cinza, enquanto uma com seis bits apresenta apenas 64 níveis ([Huh & Malone, 2001](#)). A maioria dos sensores trabalha com resolução radiométrica de oito bits ou 256 níveis de cinza (0 – 255).

Quando uma imagem, obtida por câmera de vídeo ou máquina fotográfica, é digitalizada por um equipamento acoplado ao computador (como uma placa digitalizadora ou *scanner*), esta passa a ter uma resolução radiométrica de oito bits, sendo cada *pixel* da imagem representado por um valor digital (0 – 255) (Figura 8).

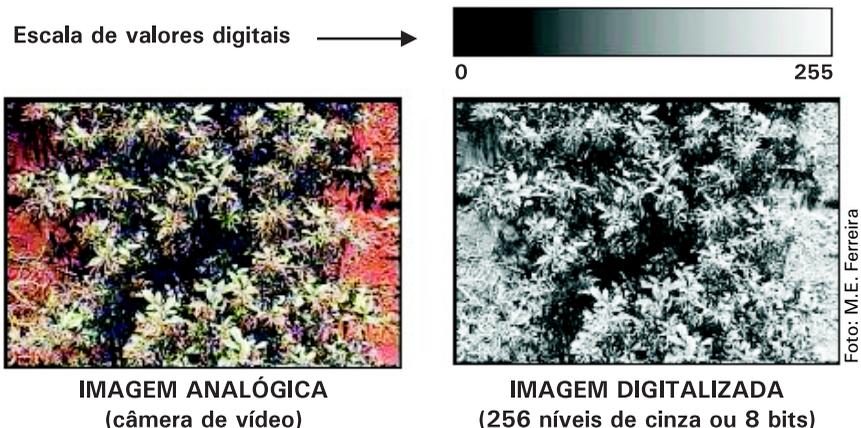


Figura 8. Representação de uma imagem analógica, obtida por câmera de vídeo e a mesma imagem digitalizada, com resolução radiométrica de oito bits ou 256 níveis de cinza.

Processamento digital de imagens

O termo *processamento digital de imagens* indica a manipulação de dados em meio computacional em que o material de entrada e de saída do sistema é uma imagem. A necessidade do processamento advém do fato de a imagem conter um volume de informações quase sempre superior à capacidade de percepção do olho humano. Na maioria das vezes, essas informações são “traduzidas” somente pelas melhorias no aspecto visual ou estrutural da imagem. Tais melhorias incluem alguns tratamentos, como aumento de contraste ou uso de filtros de bordas (limites entre diferentes feições), por exemplo. Criam-se, assim, condições para uma interpretação mais eficaz, facilitando o reconhecimento de feições comuns (ex.: sementes, espécies de coberturas vegetais, tipos de solo, corpos hídricos, etc.) (Crósta, 1993).

De modo geral, um sistema de processamento de imagens envolve algumas etapas que podem ser agrupadas na seguinte ordem: (1) aquisição da imagem e armazenamento; (2) tratamento da imagem (técnicas de realce); (3) análise da imagem (interpretação, coleta de amostras de *pixels* para classificação supervisionada, etc.); (4) classificação e análise dos resultados. Algumas dessas etapas, ilustradas na Figura 9, são descritas a seguir.

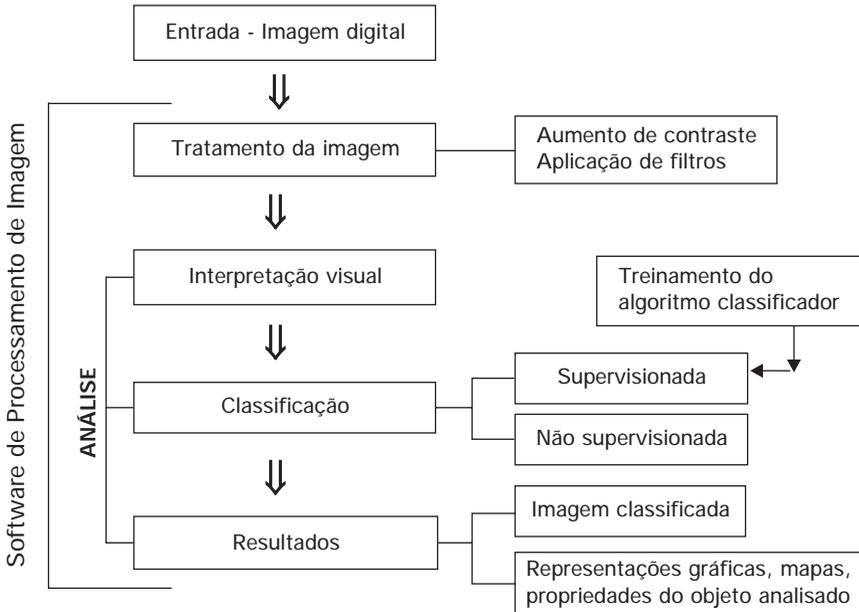


Figura 9. Etapas básicas para o processamento digital de uma imagem.

Softwares de processamento de imagens

Os processadores de imagens são *softwares* desenvolvidos para o tratamento de imagens no formato digital (em geral, com 256 níveis de cinza), permitindo a realização de diversas operações: tratamentos no domínio da imagem ou da frequência para realçar certos objetos ou áreas na imagem; classificações; análise espacial e estatística dos *pixels*.

Atualmente, são encontrados diversos *softwares* de processamento de imagens os quais, em geral, desempenham funções semelhantes, salvo certos avanços ou singularidades que podem trazer maior benefício para o usuário. Neste trabalho são abordadas as características de quatro *softwares* de processamento: [ENVI](#), [SPRING](#), [KS 300](#) e [SIARCS](#).

ENVI

O [ENVI](#) (Environment for Visualizing Images) ([Figura 10](#)) faz parte de um grupo de programas voltados para o uso em sensoriamento remoto, isto é, que trabalham com imagens multiespectrais e hiperespectrais, adquiridas por sensores instalados em satélites e/ou aeronaves. Entretanto, seu uso pode ser estendido para a análise de imagens obtidas por microscópios ou câmeras de vídeo, por exemplo, já que os princípios do processamento são praticamente os mesmos em ambas as escalas de informação.

Desenvolvido pela Research Systems (EUA - www.researchsystems.com/envi), esse programa apresenta as funções básicas e avançadas para a análise de imagens, permitindo também o uso de *macros* (seqüência de comandos criados para determinada aplicação) por meio da linguagem de programação utilizada pelo [ENVI](#) (IDL). O [ENVI](#) opera em ambiente Windows, UNIX e Macintosh ([Câmara & Ortiz, 1998](#)). Esse software encontra-se atualmente na versão 3.5 (outubro de 2001).

Uma vantagem desse processador refere-se à integração com quase todas as extensões de imagens, além da IMG (extensão principal). Não há, portanto, necessidade de importar ou converter formatos de imagens, salvas na etapa de digitalização (transferência da câmera de vídeo para o computador). Outro ponto positivo é a facilidade com que as imagens são tratadas (realce de imagens) e classificadas, obtendo-se rapidamente os resultados estatísticos provenientes da análise efetuada.

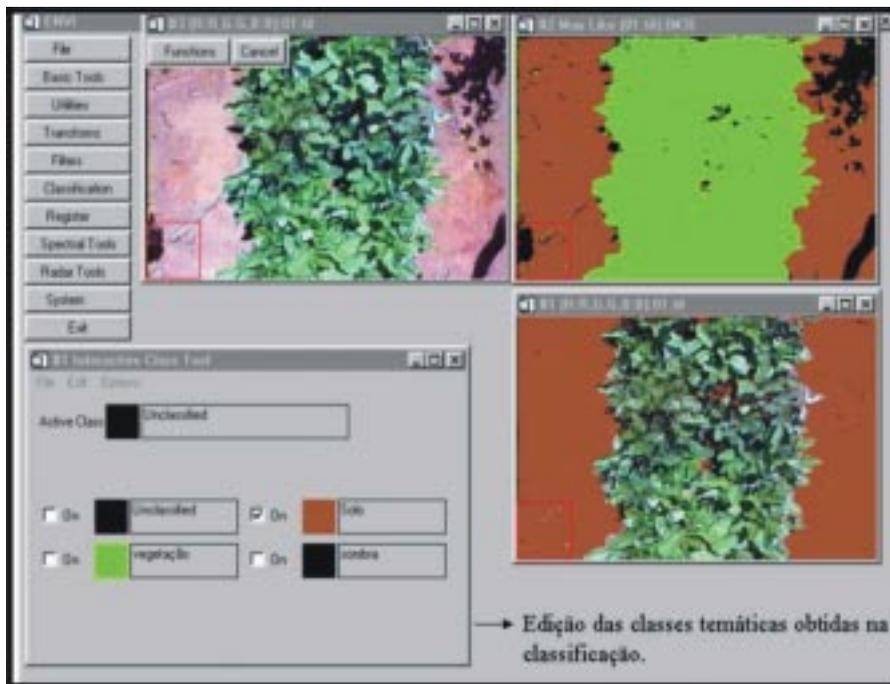


Figura 10. Interface do *software* ENVI (versão 3.2).

SPRING

Desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE - www.inpe.br), o [SPRING](#) (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) (Figura 11) é um processador de imagens em conjunto com um Sistema de Informações Geográficas (SIG), sendo utilizado, principalmente, para atividades que necessitam de um sistema de geoprocessamento, incluindo análise geográfica, Modelagem Numérica de Terreno (MNT), entre outras possibilidades de utilização (Câmara & Ortiz, 1998; Assad & Sano, 1998). Esse programa apresenta versões para os ambientes Windows e UNIX. Um dos pontos positivos do [SPRING](#) é sua distribuição gratuita pelo INPE, colocando à disposição dos usuários um suporte técnico permanente, assim como constantes atualizações (atualmente na versão 3.6 – abril/2001).

de solo, cobertura vegetal, contagem de grãos, área foliar, entre outras aplicações. Informações complementares podem ser adquiridas em [Caliari \(1997\)](#).

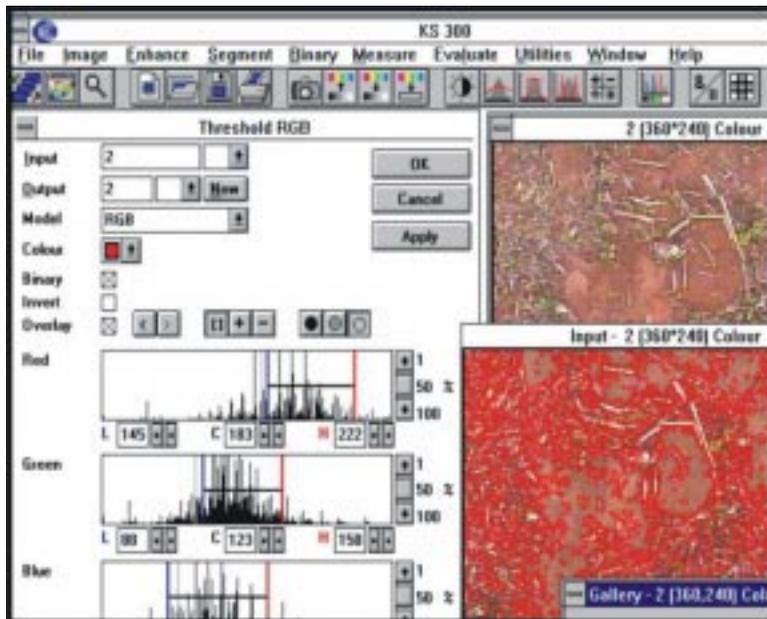


Figura 12. Interface do KS-300 (versão 1.2).

SIARCS

O [SIARCS](#) (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo) ([Figura 13](#)) foi desenvolvido pela Embrapa - CNPDIA (www.cnpdia.embrapa.br/siarcs2.html) para facilitar e tornar mais ágil o processo de obtenção de dados sobre o desenvolvimento de sistema radicular de plantas, auxiliando bastante os trabalhos de pesquisa sobre a interação solo-raiz ([Jorge, 1996](#); [Guimarães et al., 1997](#)). Sua aplicação tem sido estendida à análise de cobertura vegetal, área foliar ou sementes. Foi avaliada a versão 3.0, para ambiente Windows; a versão 2.0 é destinada ao ambiente DOS.

Esse *software* trabalha com imagem de 8 bits, nos formatos BMP ou PCX. Arquivos de imagem com extensões diferentes devem ser convertidos em outros programas de tratamento de imagem para, então, serem abertos no [SIARCS](#).

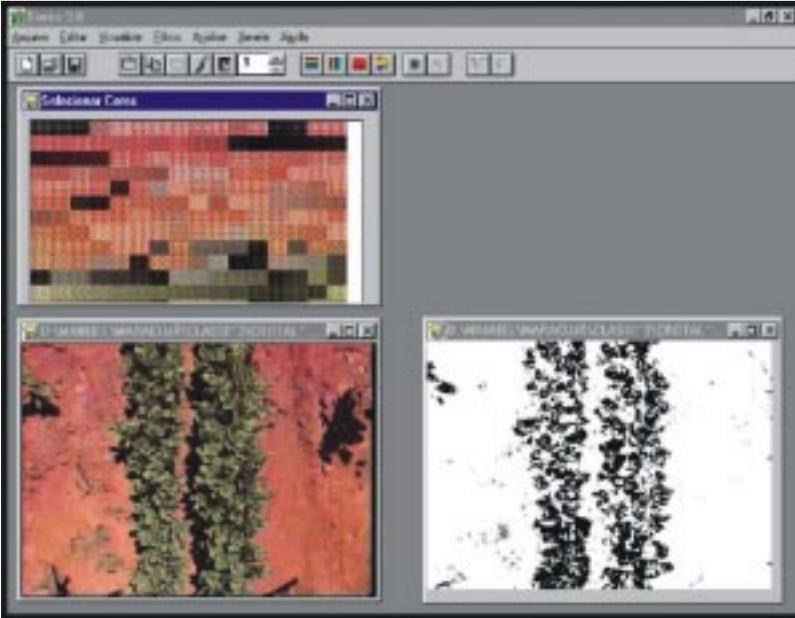


Figura 13. Interface do SIARCS (versão 3.0).

Tratamento de imagem

A interpretação de uma imagem pode ser dificultada por alguns fatores, ora inerentes ao sensor, tal como a baixa resolução espacial e radiométrica deste, ora externos ao processo, tal como a perda de qualidade da imagem durante a fase de aquisição (ex.: manipulação inadequada dos instrumentos). Com o uso de câmeras de vídeo, por exemplo, uma área mal iluminada pode ser suficiente para reduzir essa qualidade. Por sua vez, certas técnicas de realce (ex.: aumento de contraste, uso de filtros) podem evidenciar as áreas de interesse na imagem, facilitando sua análise. Serão abordados, em seguida, alguns procedimentos comuns ao realce de imagem.

O aumento de contraste é uma maneira bastante eficaz, entre outras, de se realçar as feições (alvos) de uma imagem, melhorando a qualidade visual dela, sem, no entanto, alterar a quantidade de informação inicial.

Como já mencionado, a REM refletida por um alvo qualquer e registrada pelos sensores (ex.: câmera de vídeo), é convertida para uma escala de valores digitais que varia de 0 a 255 níveis de cinza. Assim, na visualização de um histograma (disponibilizado pela maioria dos processadores de imagens), é possível descrever a distribuição estatística dos *pixels* de uma imagem, isto é,

conhecer o número de *pixels* para cada um dos valores digitais ([Schowengerdt, 1997](#)) (Figura 14).

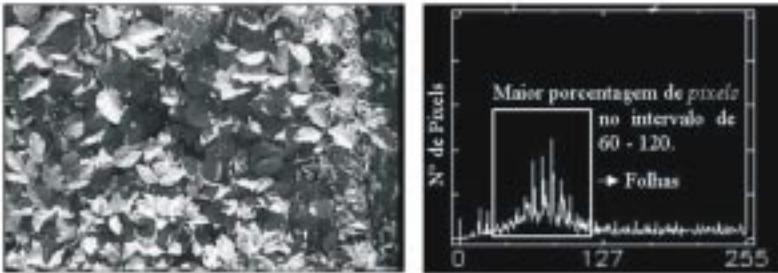


Figura 14. Histograma de uma imagem com duas classes temáticas: “folhas” e “solo exposto”, no comprimento de onda do visível (banda do verde), com a respectiva distribuição dos *pixels*, em função dos valores digitais (0 – 255).

Entretanto, danos no sensor, iluminação inadequada ou até mesmo as características próprias dos objetos que compõem a cena, podem gerar imagens muito escuras (maioria dos *pixels* concentrados em valores próximos a zero) ou muito claras (maioria dos *pixels* próximos a 255). Na Figura 14, grande parte dos *pixels* encontra-se com valores entre 60 e 120, o que garante um bom contraste. Na Figura 15, é feita uma comparação entre imagens com diferentes níveis de contraste, com os respectivos histogramas.

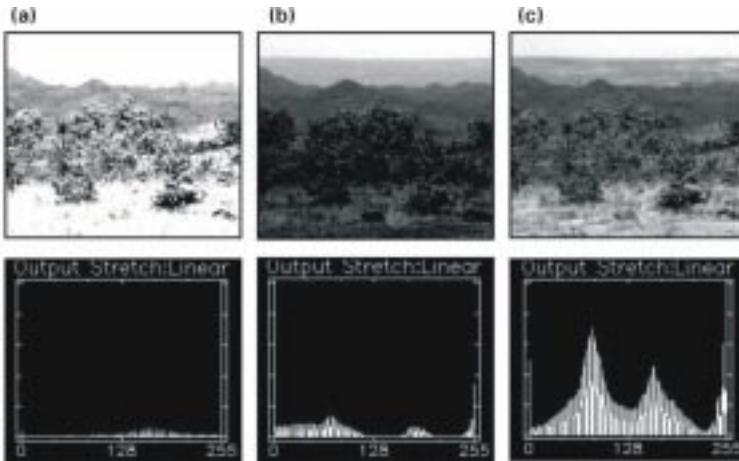


Figura 15. Efeito da aplicação de diferentes níveis de contraste na identificação de classes temáticas em uma imagem. Na imagem (a), campo e solo formam uma única classe, pouco diferenciada da paisagem ao fundo; na imagem (b), solo e arbustos compõem, praticamente, uma única classe de difícil interpretação; na imagem (c), todas as classes de informação são passíveis de interpretação.

Caso necessário, o analista poderá modificar a distribuição dos *pixels* no histograma, optando por uma função de transferência de contraste, definida por $y = f(x)$. Essa “correção” consiste em associar o valor digital mínimo e máximo da imagem analisada aos valores mínimo e máximo possíveis no histograma, isto é, zero e 255, obtendo, assim, maior contraste entre as classes de informações. Entre as funções disponibilizadas pelos *softwares* de processamento, a **ampliação linear de contraste** é a mais simples e utilizada cuja função de transferência é uma reta. Nesta, os valores digitais da cena são escalonados linearmente, resultando em uma nova distribuição para os *pixels* (Figura 16). Mais especificamente, os valores digitais mínimo e máximo da imagem original assumem, respectivamente, os valores 0 e 255 na imagem transformada. Os valores intermediários da imagem original são reescalonados, proporcionalmente, segundo a função $f(x)$ mostrada na figura em questão. Além do modelo linear, a ampliação de contraste pode seguir o modelo gaussiano (normal), equalizado, entre outros.

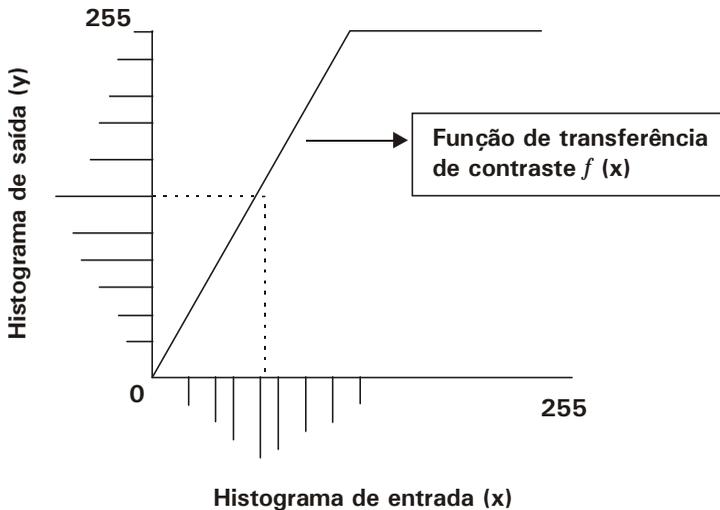


Figura 16. Exemplo de uma função de transferência para a realização de um aumento linear de contraste. Modificada de [Crósta \(1993\)](#).

É necessário ressaltar que um histograma não fornece informações sobre a distribuição espacial dos *pixels* na imagem, porém, é possível fazer uma inferência observando a distribuição de *pixels* no histograma, em função dos valores digitais dos alvos ([Figura 17](#)).

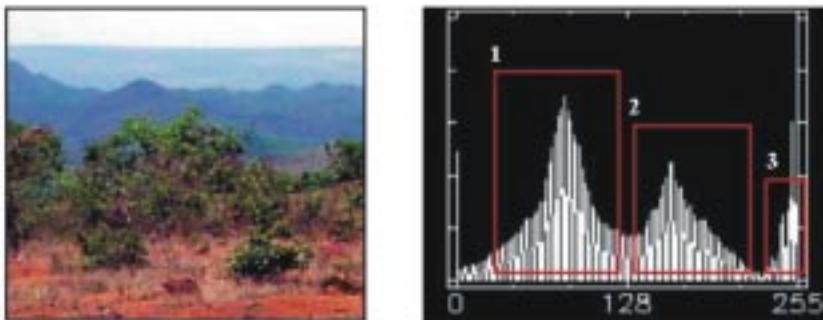


Figura 17. Distribuição de *pixels* no histograma, refletindo a espacialização dos alvos na imagem. Os *pixels* do grupo 1 representam a classe de vegetação verde a qual domina a paisagem; o grupo 2 representa as parcelas de solo, com valores digitais um pouco mais elevados do que os de vegetação; o grupo 3 representa a parte da imagem mais clara, identificando-se a paisagem de fundo e o céu (valores próximos a 255).

Análise de imagens

A análise de imagens depois da aplicação de alguns tratamentos voltados para melhoria de qualidade (realce, filtragem, etc), é a última etapa de um processamento digital antes da obtenção dos resultados propriamente ditos e está relacionada com a extração de informações quantitativas e qualitativas de determinada cena. O procedimento principal de uma análise de imagens refere-se às técnicas de classificação.

A classificação de imagens consiste no estabelecimento de um processo de decisão no qual um grupo de *pixels* é definido como pertencente à determinada classe temática (definida ou não pelo usuário), de acordo com seu respectivo valor digital ([Venturieri & Santos, 1998](#)). Esta poderá ser **supervisionada** e **não supervisionada**, ocorrendo, em ambos os casos, um reconhecimento de padrões quanto aos valores digitais dos *pixels*.

Classificação supervisionada

Esse método de classificação é dito supervisionado por realizar um reconhecimento dos padrões de *pixels* na imagem com base em indicações (regras) definidas pelo próprio analista. Nesse caso, para cada classe temática identificada na imagem (ex.: solo, vegetação, raízes), é necessária a “coleta” de amostras (homogêneas) de *pixels* representativas dessa classe. Esse processo de coleta, realizado quantas vezes for necessário, é usualmente conhecido por

“treinamento” do algoritmo classificador (algoritmo específico para a classificação de imagens). Cabe ressaltar que nem todos os processadores de imagens realizam esse tipo de classificação, estando restrita àqueles *softwares* que possibilitam a coleta de amostras de *pixels*, assim como a escolha de algoritmos de classificação (tratados adiante). Entre os *softwares* analisados (nas respectivas versões citadas), apenas o [ENVI](#) e o [SPRING](#) permitem a realização da classificação supervisionada. Na Figura 18, ilustra-se a classificação supervisionada de uma imagem com cobertura vegetal e solo exposto.

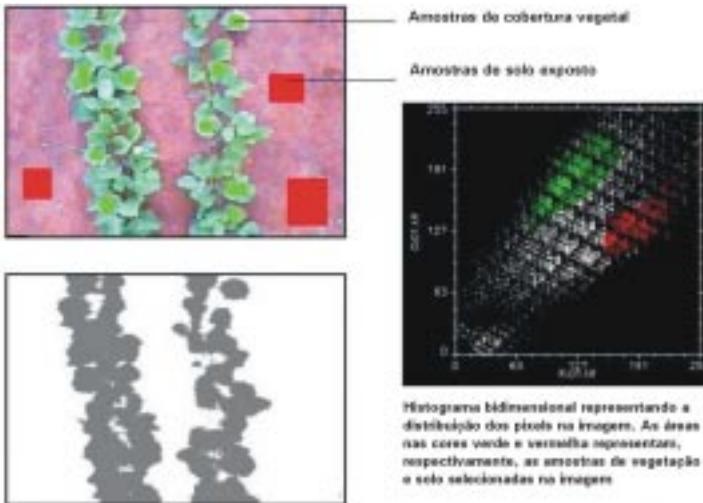


Figura 18. Classificação supervisionada de uma imagem com duas classes temáticas: solo exposto (69,71%) e vegetação (30,28%).

Classificação não supervisionada

A classificação **não supervisionada**, como o próprio nome diz, não utiliza amostras de *pixels*, coletadas pelo analista, para classificar os diferentes alvos de uma imagem (ex.: solo, vegetação, raízes). Ou seja, não há fase de treinamento do algoritmo classificador. O analista opta apenas por um dos algoritmos oferecidos pelo *software* de processamento para a realização da classificação, escolhendo também o número de classes de informações (classes temáticas) que serão apresentadas no resultado. Esse método é mais empregado em imagens cuja localização dos alvos seja desconhecida pelo intérprete no qual a classificação fornecerá uma idéia aproximada da distribuição destes na área analisada ([Figura 19](#)).

Eventualmente, alguns alvos ou objetos na imagem, apesar de serem diferenciados visualmente pela forma ou volume, apresentam *pixels* com valores digitais bastante parecidos (ou até iguais), em função, por exemplo, de fatores como a iluminação do ambiente. Esses alvos podem ser classificados como pertencentes a uma mesma classe de temática, independente do método de classificação adotado.

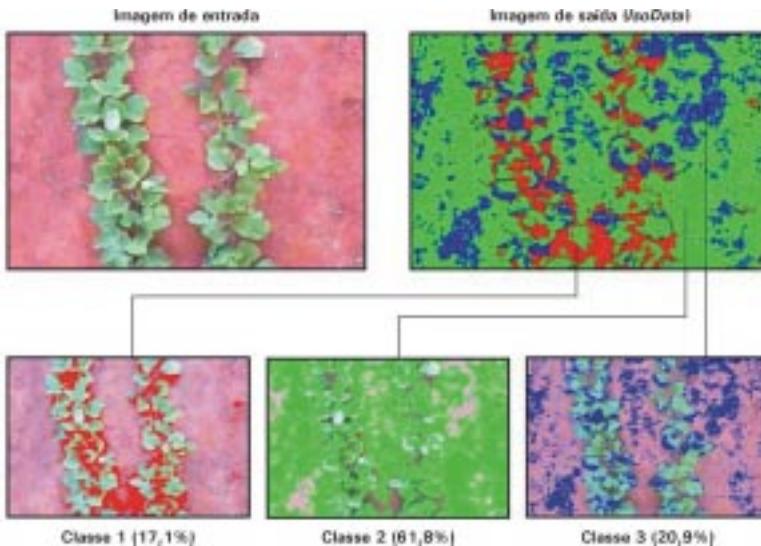


Figura 19. Exemplo de classificação não supervisionada de uma imagem com duas classes temáticas: solo exposto e vegetação, utilizando o algoritmo *IsoData*.

Classificação híbrida

Segundo [Venturieri & Santos \(1998\)](#), os métodos de classificação supervisionada e não supervisionada podem ser utilizados simultaneamente para minimizar as desvantagens inerentes em cada um deles. Busca-se, assim, maior eficiência na caracterização das imagens classificadas. Tal procedimento é denominado de **classificação híbrida**.

Binarização

Em linhas gerais, a binarização consiste em transformar uma imagem, originalmente com 256 níveis de cinza, em apenas dois níveis: 0 (zero) e 1, ou seja, preto e branco. Alguns *softwares* de processamento, tais como o [KS-300](#) e o [SIARCS](#), realizam a análise da imagem, incluindo o processo de classificação,

por meio apenas da binarização. Como exemplo, pode-se citar uma imagem cujos *pixels* com valores entre 80 e 174, selecionados, correspondam ao objeto ou à área a ser classificada. Com a binarização, esses *pixels* receberão o valor 0 (zero) enquanto os demais, o valor 1.

Algoritmos de classificação

Os *softwares* de processamento mais completos, em geral, aqueles desenvolvidos para o uso de imagens obtidas por satélites (ex.: [ENVI](#) e [SPRING](#)), apresentam diferentes algoritmos de classificação. Para o método de classificação supervisionada, encontram-se disponíveis os algoritmos Máxima Verossimilhança (MaxVer), Paralelepípedo, Mínima Distância e Distância de Mahalanobis. Para o método de classificação não supervisionada, podem-se citar os algoritmos *IsoData* e *K-Médias*.

Em geral, na classificação supervisionada, o algoritmo mais utilizado é o MaxVer o qual segue o modelo de distribuição gaussiano para determinar o limite de decisão entre classes temáticas (ex.: solo, folhas verdes, folhas seca). Esse Software baseia-se no cálculo da distância estatística entre cada pixel e na média dos níveis de cinza das classes de amostras previamente obtidas na fase de treinamento. Uma discussão mais aprofundada sobre algoritmos classificadores pode ser obtida em [Mather \(1987\)](#); [Schowengerdt \(1997\)](#). Na Figura 20, ilustra-se uma classificação supervisionada, utilizando o algoritmo MaxVer e uma não supervisionada pelo algoritmo *IsoData*.

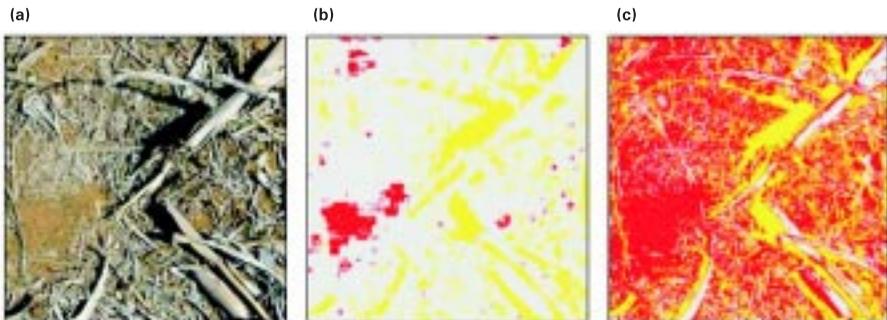


Figura 20. (a) Imagem original apresentando três classes temáticas: solo, folha seca e sombra; (b) imagem submetida a uma classificação supervisionada pelo algoritmo MaxVer, com a definição (em %) das três classes: solo – 3,8% (vermelho), matéria seca – 80,6% (cinza) e sombra – 15,6% (amarelo); (c) Imagem submetida a uma classificação não supervisionada, pelo algoritmo *IsoData*: solo – 47,3% (vermelho), matéria seca – 26% (cinza) e sombra – 26,6% (amarelo).

Pós-classificação

Na fase de pós-classificação, são apresentados os resultados estatísticos de cada classe temática para determinado método e algoritmo. Dependendo do *software* utilizado, os resultados podem vir em números de *pixels* classificados, em porcentagem ou em unidades métricas. Quando os resultados são pouco satisfatórios, a imagem deve ser reclassificada, verificando-se, para o caso de classificação supervisionada, o número de *pixels* coletados na fase de treinamento, assim como o algoritmo classificador utilizado.

Procedimentos Metodológicos

Aquisição de imagens

A aquisição de imagens representa, de maneira geral, uma das etapas mais importantes para a avaliação da metodologia de análise de imagens digitais, contribuindo bastante pela qualidade e precisão dos resultados finais ([Jorge, 1996](#)). Fatores como o posicionamento do equipamento interferem diretamente na escala da imagem (resolução espacial) da mesma forma que o nível de contraste da cena é afetado pela intensidade de luz ou presença de sombras no momento do registro.

O nível de luminosidade em experimentos ao ar livre, sem a presença de nuvens, apresenta um ponto máximo ao meio dia. Em geral, uma iluminação acentuada do ambiente pode interferir na qualidade das imagens, obtidas por equipamentos de vídeo ou fotográficos. Isso se deve, principalmente, à saturação (brilho excessivo) dos *pixels* na imagem (valores digitais elevados) ([Falcon, 1997](#)). Por sua vez, a presença de nuvens pode trazer melhor qualidade a essas imagens, pois há redução da luz incidida sobre os alvos na superfície, amenizando o brilho refletido pelos objetos. Situação semelhante é observada no registro de imagens realizado nas primeiras horas do dia, o que proporciona distribuição mais homogênea dos valores digitais na imagem.

Em avaliações multitemporais, ou seja, com imagens obtidas em datas diferentes, deve ser definido, sempre que possível, um horário-padrão para o registro delas, a fim de manter as mesmas condições de iluminação para os alvos avaliados. Para o caso de filmagens ou registros fotográficos em locais predeterminados e de área relativamente pequena, a padronização da luminosidade é possível com a improvisação de um sombreamento artificial sobre o alvo, com o uso de um guarda-sol, por exemplo.

Nos experimentos que envolvem mais de um registro de imagens que buscam, por exemplo, quantificar o crescimento de espécies de cobertura ao longo de determinado intervalo de tempo, faz-se necessário o estabelecimento de uma escala, padronizando a área filmada ou fotografada. No caso da câmera de vídeo, a altura dela em relação ao solo deve ser a mesma durante as filmagens em um experimento. Com esse procedimento, a resolução espacial (dimensão de um *pixel* da imagem na superfície) será mantida, favorecendo, por exemplo, uma análise temporal das imagens (imagens com diferentes datas de aquisição). O *zoom* dos equipamentos deve permanecer, de preferência, no infinito, evitando, assim, variações na escala da área analisada.

Material

Campo

Basicamente, foram utilizados dois equipamentos nessa fase (campo) da metodologia avaliada: um sistema sensor, representado aqui pela câmera de vídeo (padrão 8 mm), e um suporte para manter a câmera na posição vertical ao solo.

O suporte deve ser de alumínio, leve o suficiente para ser movimentado dentro da área experimental, com mecanismo de ajuste variável de altura (retrátil), possibilitando o registro de imagens de culturas com diferentes portes (diferentes fases de crescimento). A Figura 21 exemplifica o uso de tais equipamentos.

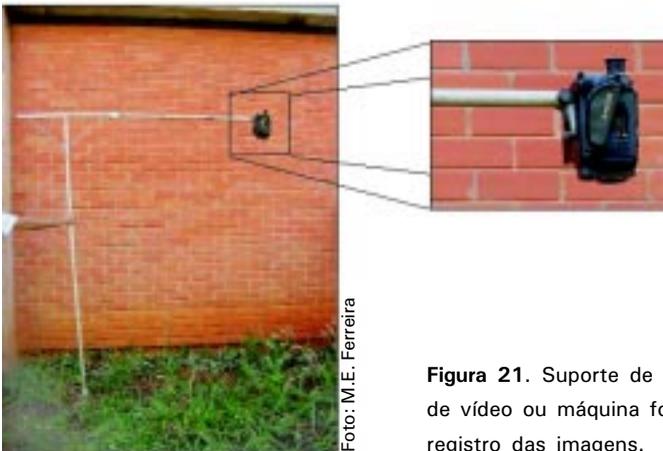


Figura 21. Suporte de alumínio para câmera de vídeo ou máquina fotográfica, utilizado no registro das imagens.

Laboratório

No laboratório, destacam-se alguns equipamentos físicos (*hardwares*), tais como a placa digitalizadora, *scanner*, além do próprio computador e programas ou linguagens computacionais (*softwares*), voltados para o processamento digital de imagens.

A placa digitalizadora, equipamento acoplado ao computador e à câmera de vídeo (cabo RCA), é responsável pela conversão das imagens adquiridas pela câmera de vídeo convencional (padrão de filme 8 mm) para o formato digital (8 bits ou 256 níveis de cinza). Nesse processo, os sinais de vídeo são convertidos para a linguagem binária (0 e 1), compreendida apenas pelo computador. O processo é o mesmo para imagens adquiridas por *scanner* em que uma foto em papel fotográfico (analógica) é convertida para o formato digital. Na Figura 22, ilustra-se um sistema computacional, incluindo *hardware* e *software*.



Figura 22. Exemplos de sistemas para processamento digital de imagens, utilizando informações captadas por *scanner*, câmeras fotográfica e de vídeo.

Terminada a etapa de aquisição e de transferência, as imagens devem ser armazenadas em discos magnéticos (discos rígidos do próprio computador ou similar) ou ópticos (CD – *Compact Disc*), a fim de serem acessadas rapidamente para o início do processamento propriamente dito.

No caso de câmeras digitais (sem filme), o uso da placa digitalizadora torna-se desnecessário, já que nesses equipamentos as imagens já são armazenadas no formato binário (0 e 1).

Com o uso de câmeras fotográficas convencionais (com filme fotográfico), um *scanner* deve ser utilizado para converter as fotografias do formato analógico para o digital. O *scanner* pode também ser utilizado diretamente na captura de imagens de pequenos materiais, como folhas, sementes ou raízes.

Uso de Imagens Digitais na Avaliação da Taxa de Crescimento e Cobertura do Solo

A cultura avaliada neste estudo foi a do maracujazeiro. Apesar de ser uma das mais tradicionais na Região do Cerrado, ainda apresenta produtividade considerada baixa, devido ao manejo inadequado do solo e da água, aliados a ataques epidêmicos de doenças e pragas. Ao longo do tempo, é muito comum observar degradação física, química e biológica desses solos pela ação da erosão e da lixiviação de nutrientes, ocasionados por chuvas de alta intensidade. Uma maneira de evitar esses problemas é cultivar, entre as linhas de maracujá, plantas capazes de cobrir o solo, visando a controlar a erosão; diminuir a incidência de ervas-daninhas; atenuar as perdas de nutrientes por lixiviação; e diminuir a oscilação térmica do solo ([Andrade et al., 1999](#)).

Nesse contexto, as espécies *Crotalaria spectabilis*, guandu-anão (*Cajanus cajan*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis* L.) e amendoim forrageiro (*Arachis pintoii*) foram testadas como plantas de cobertura de solo, num ensaio experimental com maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.), instalado na Embrapa Cerrados.

Para avaliar a eficiência de crescimento e a taxa de cobertura do solo dessas espécies, foi utilizado o método de análise digital de imagens, obtidas por câmeras de vídeo.

Características do experimento

O delineamento experimental foi de blocos ao acaso, com quatro repetições. A área de cada parcela era de 18 m x 5 m, totalizando aproximadamente de 3000 m² ([Figura 23](#)).



Foto: Manuel E. Ferreira

Figura 23. Vista geral da área do experimento na Embrapa Cerrados.

As mudas do maracujazeiro foram plantadas no espaçamento de 3 m entre linhas x 2,5 m entre plantas. As espécies de cobertura foram semeadas, à exceção do amendoim forrageiro que foi plantado na forma de mudas (estolões), no espaçamento de 0,50 m entre linhas. A parcela testemunha foi representada pelo solo descoberto, com presença de plantas daninhas, surgidas espontaneamente ao longo do tempo.

Neste trabalho, quatro *softwares* de processamento de imagens foram comparados entre si, com base nos manuais dos fabricantes para avaliação do crescimento e da taxa de cobertura do solo por diferentes espécies de plantas na Embrapa Cerrados.

Registro e processamento das imagens

O registro das imagens foi realizado por meio de câmera de vídeo convencional, padrão 8 mm, modelo TRV 15, produzida pela SONY. A configuração básica do computador, utilizado para a análise das imagens, foi um processador Pentium - MMX 233 MHz, memória RAM de 32 MB e placa de vídeo de 4 MB. Foi utilizada uma placa digitalizadora, modelo AIGOTCHA, produzida pela ALTECH. Cinco filmagens foram realizadas no experimento, entre janeiro e outubro de 1999. Houve preferência pelo período matutino que ofereceu melhor qualidade às imagens.

Durante a coleta de dados, para sustentar a câmera de vídeo, utilizou-se uma escada retrátil, com estrutura de alumínio e haste horizontal fixada em pontos variados, com altura máxima em torno dos seis metros.

O crescimento das espécies foi estimado pela taxa de cobertura do solo, utilizando-se o *software* [ENVI](#) (versão 3.2) para tratamento e classificação das imagens. As imagens foram obtidas entre os meses de janeiro a maio de 1999 (quatro filmagens) em um período compreendido entre 29 e 128 dias depois do plantio. A área-padrão considerada foi de 1,2 m².

Resultados

O feijão-de-porco foi a espécie que teve crescimento mais rápido nos primeiros 29 dias, cobrindo cerca de 36% da área de solo avaliada (Figura 24). Aos 64 dias depois do plantio, a taxa de cobertura do solo na parcela com guandu-anão e feijão-de-porco foram semelhantes e maiores que 80%, enquanto a crotalária cobria 50% da área. Aos 128 dias, à exceção do amendoim forrageiro, as demais espécies apresentaram taxa de cobertura do solo igual ou superior a 90%. O amendoim forrageiro apresentou taxa de crescimento e de cobertura do solo muito lenta dentro do período avaliado.

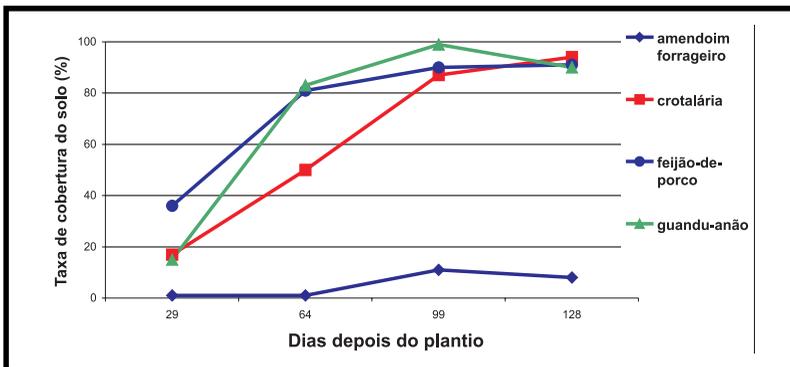


Figura 24. Taxa de cobertura de solo por quatro espécies de plantas, ao longo do tempo. Valores estimados pelo processador ENVI, para uma área de 1,2 m².

Verificou-se, também, que certas características das plantas, como a arquitetura (estrutura, distribuição dos galhos e folhas), coloração, existência de flores, frutos, sementes e raízes expostas interferem nos resultados obtidos com a classificação das imagens, independente do *software* utilizado. [Welles & Cohen \(1996\)](#) observaram situação semelhante, utilizando outro tipo de sensor (LAI-2000) para avaliação do índice de área foliar. Normalmente, as plantas de

estatura baixa e espalhada ou que apresentam galhos, raízes expostas, sementes, entre outras adjacências vão aparentar maior taxa de cobertura que as demais de estatura alta, agrupadas e com caules finos, por exemplo.

Aos 180 dias depois do plantio, foi realizado o corte das plantas, exceto para o amendoim forrageiro que permaneceu como cobertura viva. Os restos vegetais foram deixados sobre o solo como cobertura morta no período da seca. No início do período chuvoso, a taxa de cobertura do solo (com restos das culturas e rebrotações) foi novamente avaliada, utilizando o sistema [ENVI](#). As classes temáticas elaboradas foram “cobertura verde”, “cobertura morta” e “solo exposto” (Tabela 1).

Para efeito de comparação de *softwares*, uma imagem representativa da crotalária (dimensão de 350 x 230 *pixels*), aos 64 dias depois do plantio, foi tratada e classificada em cada um dos quatro *softwares* abordados neste estudo (Figura 25).

Tabela 1. Taxa de cobertura do solo ao final do período de seca para diferentes espécies. Valores estimados pelo processador [ENVI](#) para uma área de 0,50 m².

Parâmetro avaliado	Taxa de cobertura do solo (%)			
	Amendoim forrageiro	Crotalária	Feijão-de-porco	Guandu-anão
Cobertura verde	29,5	18,3	10,8	20,5
Cobertura morta	10,4	69,8	78,9	31,4
Solo exposto	59,1	11,9	10,3	48,1

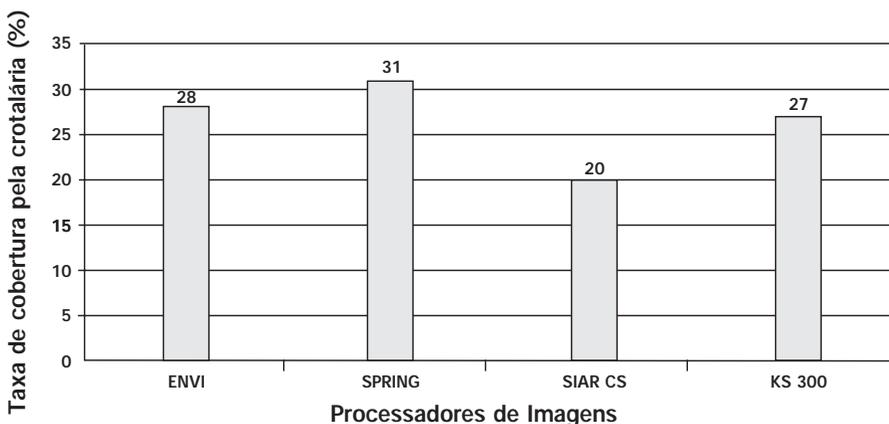


Figura 25. Taxa de cobertura do solo pela crotalária, aos 64 dias depois do plantio, estimada por diferentes processadores de imagens. Área analisada equivalente a 4,4 m².

As diferentes taxas de cobertura do solo para a crotalária (64 dias depois do plantio), obtida pelos quatro *softwares* de processamento ([Figura 24](#)), devem-se, principalmente, aos recursos oferecidos por cada um desses programas. No [ENVI](#) e no [SPRING](#), a classificação da imagem foi realizada por meio de treinamento do algoritmo classificador MaxVer, resultando em taxas mais altas de cobertura. Já no [KS-300](#) e no [SIARCS](#), essa classificação foi feita por meio de *Threshold*, seguido por binarização da imagem, o que certamente determinou as menores taxas baixas de cobertura do solo pela crotalária.

No caso do [ENVI](#) e [SPRING](#), a pequena variação nos resultados é determinada por certa subjetividade durante a definição de amostras na imagem, utilizadas pelo algoritmo classificador (classificação supervisionada - MaxVer)

Considerações Finais

O uso da técnica de análise de imagens digitais, obtidas por meio de câmera de vídeo, mostrou-se bastante útil para o acompanhamento e avaliação das diferentes espécies de cobertura do solo. Desde o registro das imagens até o processamento e classificação delas, todas as etapas foram executadas com considerável facilidade. Outra vantagem observada é o registro permanente da área de interesse, favorecendo a uma comparação com dados de diferentes épocas (análise multitemporal) ou apenas viabilizando nova classificação com a mesma imagem arquivada.

Em relação aos programas avaliados, não houve a intenção de indicar o melhor *software*, mas de expor as principais características e capacidade de processamento de cada um, deixando a escolha para o critério do usuário.

Referências Bibliográficas

- ANDRADE, L. R. M.; CARVALHO, A. M.; FERREIRA, M. E.; JUNQUEIRA, N. T. V. **Manejo de cobertura de solo em pomar de maracujazeiro**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 2 p. (Embrapa Cerrados. Pesquisa em Andamento, 27).
- ASSAD, E. D.; SANO, E. E. Aplicações futuras. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E., [(Ed.)]. **Sistema de informacoes geograficas**: aplicacoes na agricultura. [Planaltina]: Embrapa-CPAC, 1993. p. 249-264.

BASSOI, L. H.; ASSIS, J. S. Considerações sobre a utilização dos métodos do perfil auxiliado pelo processamento de imagens digitais e do monólito na análise da distribuição de raízes no solo. In: SIMPOSIO NACIONAL DE INSTRUMENTACAO AGROPECUARIA - SIAGRO, 1., 1997, Sao Carlos, SP. **Anais...** Brasilia: Embrapa-SPI ; Sao Carlos: Embrapa-CNPDIA, 1997. p. 109-114. Editado por Paulo Esteveo Cruvinel, Silvio Crestana, Ladislau Martin Neto, Luiz Alberto Calnago, Luiz Henrique Capparelli Mattoso.

CÂMERA, G.; ORTIZ, M. J. Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRICOLA, 27., 1998, Pocos de Caldas, MG. **Cartografia, sensoriamento e geoprocessamento**. Pocos de Caldas: SBEA: UFLA, 1998. p. 59-82. Simposio paralelo ao 27. CONBEA. Editado por Moacir de Souza e Silva.

CALIARI, M. V. **Princípios de morfologia digital**: KS-300 para iniciantes. Belo Horizonte: UFMG, 1997. 149 p.

CRÓSTA, A. P. **Processamento de imagens digitais de sensoriamento remoto**. Campinas: IG-UNICAMP, 1993. 170 p.

CRUVINEL, P. E.; CRESTANA, S.; JORGE, L. A. C. Métodos e aplicações do processamento de imagens digitais. In: CRESTANA, S.; CRUVINEL, P.E.; MASCARENHAS, S.; BISCEGLI, C.I.; MARTIN NETO, L.; COLNAGO, L.A. (Ed.). Instrumentacao agropecuaria: contribuicoes no limiar do nosso seculo. Brasilia: Embrapa-SPI ; São Carlos: Embrapa-CNPDIA, 1996. p. 91-151.

CUNHA, S. A. R.; ASSAD, E. D.; SANO, E. E.; SHIMABUKURO, R. K.; CORRÊA, T. B. S.; RODRIGUES, H. R. Fraudes em café torrado e moído: quantificação através do SpringCafé. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO- SBSR, 10., 2001, Foz do Iguacu. **[Anais...]**. [S.l.]: Selper: Inpe, 2001. 1 CD-ROM.

DAMASO, F. H. M; CARVALHO, A. M.; MOURA, L. L.; SODRÉ FILHO, J. Eficiência de cobertura do solo por espécies vegetais na região dos Cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasilia, DF. **[Ciencia do solo e qualidade de vida: anais]**. [Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999]. 1 CD-ROM.

ENVI: *quick start guide, release 3.1*. [S. I.]: Research Systems, 1998.

FALCON, J. Oportunidades do processamento de imagens na pesquisa agropecuária. In: SIMPOSIO NACIONAL DE INSTRUMENTACAO AGROPECUARIA - SIAGRO, 1., 1997, Sao Carlos, SP. **Anais...** Brasília: Embrapa-SPI ; Sao Carlos: Embrapa-CNPDI, 1997. p. 31-38. Editado por Paulo Esteveao Cruvinel, Silvio Crestana, Ladislau Martin Neto, Luiz Alberto Calnago, Luiz Henrique Capparelli Mattoso.

FERREIRA, M. E.; ANDRADE, L. R. M.; SANO, E. E.; CARVALHO, A. M. Uso de processadores de imagens digitais na avaliação da taxa de cobertura do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 28., 20001, Londrina. **Ciencia do solo: fator de produtividade competitiva com sustentabilidade: [resumos]**. Londrina: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo: Embrapa Soja, 2001. p. 284.

GARDINGEN, P. R. van; JACKSON, G. E.; HERNANDEZ-DAUMAS, S.; RUSSELL, G.; SHARP, L. Leaf area index estimates obtained for clumped canopies using hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 94, p. 243-257, 1999.

GUIMARÃES, M. F.; JORGE, L. C. A.; DE MARIA, I. C.; TAVARES FILHO, J.; BICUDO, S. J.; CRESTANA, S. Três metodologias de avaliação de raízes: descrição, limitações e vantagens. In: SIMPOSIO NACIONAL DE INSTRUMENTACAO AGROPECUARIA - SIAGRO, 1., 1997, Sao Carlos, SP. **Anais...** Brasília: Embrapa-SPI ; Sao Carlos: Embrapa-CNPDI, 1997. p. 295-304. Editado por Paulo Esteveao Cruvinel, Silvio Crestana, Ladislau Martin Neto, Luiz Alberto Calnago, Luiz Henrique Capparelli Mattoso.

HOLZ, R. K. **The surveillant science: remote sensing of the environment**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1985. 413 p.

HUH, O.K.; MALONE, J.B. New tools: potential medical applications of data from new and old environmental satellites. **Acta Tropica**, Basel, v. 79, p. 35-47, 2001.

JORGE, L. A. C. **SIARCS 3.0 para Windows: manual do usuário**. São Carlos: Embrapa – CNPDIA, 1996. 30 p.

JORGE, L. A. C. **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do Siarcs**. São Carlos: Embrapa-CNPDIA, 1996. (Embrapa-CNPDIA. Circular Técnica, 1).

KS-300: *user guide, release*. 1.2. [S. l.]: KONTRON ELEKTRONIK, 1994.

LEONI, E.; JORGE, L. A. C.; VARANDA, E. M.; CRESTANA, S. Medição de área foliar em estudos de herbivoria, utilizando processamento de imagens digitais. In: SIMPOSIO NACIONAL DE INSTRUMENTACAO AGROPECUARIA - SIAGRO, 1., 1997, Sao Carlos, SP. **Anais...** Brasilia: Embrapa-SPI ; Sao Carlos: Embrapa-CNPDIA, 1997. p. 327-330. Editado por Paulo Esteveao Cruvinel, Silvio Crestana, Ladislau Martin Neto, Luiz Alberto Calnago, Luiz Henrique Capparelli Mattoso.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, W. R. **Remote sensing and image interpretation**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 612p.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. New York: John Wiley & Sons, 1987. 351p.

MEIR, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A. C. Photographic method to measure the vertical distribution of leaf area density in forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 102, p. 105-111, 2000.

MENESES, P. R.; ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Introdução ao processamento de imagens digitais de satélites e sensoriamento remoto**. Brasília: UnB, 1995. 67 p.

SABINS, F. F. **Remote sensing: principles and interpretation**. San Francisco: W.H. Freeman, 1978. 426 p.

SCHOWENGERDT, R. A. 1997. **Remote sensing: models and methods for image processing**. 2. ed. San Diego, CA: Academic Press, 1997. 522 p.

SILVA, A. V.; REATTO, A.; BROSSARD, M.; MARTINS, E.; CARVALHO, A. M. Quantificação de raízes utilizando softwares de tratamento de imagens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 28., 20001, Londrina. **Ciencia do solo: fator de produtividade competitiva com sustentabilidade: [resumos]**. Londrina: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo: Embrapa Soja, 2001. p. 254.

SMITH, S. M.; GARRETT, P. B.; LEEDS, J. A.; MCCORMICK, P. V. Evaluation of digital photography for estimating live and dead aboveground biomass in

monospecific macrophyte stands. **Aquatic Botany**, Amsterdam, v. 67, p. 69-77, 1999.

SODRÉ FILHO, J.; CARVALHO, A. M. Avaliação de espécies de adubos verdes em sistemas agrícolas. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 5., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília, DF: UnB, 1999. p. 15.

SOUZA JUNIOR, J. G. A.; TOFETI, A. R.; CARVALHO, A. M. Métodos para avaliação da cobertura vegetal em solos de Cerrado cultivados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 28., 20001, Londrina. **Ciencia do solo: fator de produtividade competitiva com sustentabilidade: [resumos]**. Londrina: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo: Embrapa Soja, 2001. p. 250.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal,. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. [(Ed.)]. **Sistema de informacoes geograficas: aplicacoes na agricultura**. 2. ed. Brasilia: Embrapa-SPI: Embrapa-CPAC, 1998. p. 373-404.

WELLES, J. M.; COHEN, S. Canopy structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. **Journal of Experimental Botany**, London, v. 47, p. 1335-1342, 1996.

ANEXO

Etapas básicas para a classificação de imagens em alguns *softwares* disponíveis no mercado

1 – ENVI (versão 3.2)

As etapas descritas abaixo são, até o momento, iguais em todas as versões do ENVI, salvo pequenas modificações que dinamizam sua utilização.

- a) **Leitura dos dados.** Através do *menu FILE ? OPEN IMAGE FILE* (abrem-se extensões como IMG, própria do ENVI) ou *OPEN EXTERNAL FILE* (abrem-se extensões genéricas de imagens, como JPEG, TIFF, BMP, GIF), têm-se acesso aos arquivos de imagem. Essas devem ser acionadas na janela *AVAILABLE BANDS LIST*, optando-se por imagens coloridas (padrão RGB) ou em níveis de cinza (*Gray Scale*) para uma banda apenas.
- b) **Realce da imagem.** A opção *FUNCTIONS* (presente no próprio *display* da imagem, exceto nas versões 3.4 e 3.5 na qual as funções são apresentadas diretamente no *display*) fornece um resumo dos principais comandos do ENVI, presentes no *menu* de ferramentas principal. Neste encontram-se, por exemplo, algumas funções para se modificar o contraste da imagem (*Interactive Stretching*). O comando *FILTER*, no *menu* principal, disponibiliza vários tipos de filtros para as imagens.
- c) **Treinamento.** A opção *BASIC TOOLS* oferece uma gama de comandos, entre os quais encontra-se o *REGION OF INTEREST* (ROI) no qual é possível estabelecer classes temáticas e obter amostras dos *pixels* na imagem. Depois desse “treinamento”, a classificação da imagem pode ser realizada. O ROI deve ser salvo com a extensão “*roi*” para, na necessidade de amostras complementares ou de uma nova classificação, reabri-los sobre a imagem original.
- d) **Classificação.** Nessa etapa, já com o ROI estabelecido, o comando *CLASSIFICATION* fornece a opção de classificação *supervisionada e não-supervisionada*. Optando-se por uma classificação supervisionada ([Figura 19](#)), deve-se escolher um dos algoritmos classificadores disponíveis, já mencionados. O mesmo ocorre com a classificação não-supervisionada (sem coleta de amostras).

e) Resultados. Os resultados estatísticos serão obtidos no *menu* principal, em *CLASSIFICATION* → *POST CLASSIFICATION* → *CLASS STATISTICS*. O resultado para cada classe temática será dado em porcentagem, em número de *pixels* ou em unidades métricas, caso a resolução espacial da imagem tenha sido definida (dimensão de cada *pixel*).

Observações

Uma função importante é o redimensionamento da imagem, realizado pelo comando *RESIZES IMAGES* (encontrado na opção *UTILITIES*, no *menu* principal), em que as dimensões da imagem podem ser alteradas em qualquer fase do processamento. Tal comando facilita o estabelecimento de um padrão de tamanho para os demais arquivos de imagem. Essa ferramenta pode ser utilizada, inclusive, durante a obtenção dos resultados estatísticos provenientes da classificação, podendo-se especificar a parte da imagem (já classificada) a ser analisada estatisticamente, por exemplo.

Ferramentas para melhorar uma classificação são encontradas no *menu* principal, em *CLASSIFICATION* → *POST CLASSIFICATION*. Uma delas, denominada de *OVERLAY CLASS*, permite juntar classes temáticas (*merge*) ou visualizar apenas uma das classes temáticas sobre a imagem original. Outra ferramenta, denominada “Matriz de Confusão” (*CONFUSION MATRIX*), permite avaliar a porcentagem de erro e de acerto entre as amostras de *pixels*, coletadas na imagem (ROI) e as classes temáticas originadas com a classificação. Essa função permite avaliar a eficácia do algoritmo classificador, apresentando a acurácia e o índice de acerto (índice *Kappa*) de uma classificação.

Ferramentas voltadas para o realce de imagem (*FUNCTIONS* → *DISPLAY ENHANCEMENT*), planos de cores (*FUNCTIONS* → *COLOR MAPPING* → *ENVI COLOR TABLES* ou *DENSITY SLICE*) e filtros (*FUNCTIONS* → *DISPLAY ENHANCEMENT* → *FILTER*) podem ser acionados na janela (*display*) da própria imagem, no comando *FUNCTIONS*. Por meio do comando *FUNCTIONS* → *INTERACTIVE ANALYSIS* aciona-se uma função para verificar a localização dos pixels ou seus valores digitais na imagem (*CURSOR LOCATION*, *VALUE* e *PIXEL LOCATOR*). O comando *FUNCTIONS* → *OUTPUT DISPLAY* → *IMAGE FILE* possibilita salvar a imagem analisada em diversos formatos, entre outras opções de saída. No ENVI 3.5, a saída das imagens (classificadas ou não) para outros formatos ou para a própria extensão IMG, é também realizada no próprio *display* da imagem, através de *FILE* → *SAVE IMAGE AS* → *IMAGE FILE*.

2 – Sistema *SPRING* (versão 3.3)

A classificação de imagens no *SPRING* segue etapas semelhantes às aquelas descritas para o [ENVI](#). Entretanto, para cada imagem analisada, há a necessidade da elaboração de um banco de dados e da definição de um projeto, ambos correlacionados a ela.

Para que as imagens sejam abertas no *SPRING*, é necessária a utilização do **IMPIMA**, um dos módulos desse sistema para exportar as imagens no formato TIF (*Tagged Image File*) para o formato GRB (GRIB) - extensão exclusiva desse processador.

A etapa de “treinamento” do algoritmo classificador, essencial para a execução de uma classificação supervisionada, é bastante prática, permitindo a coleta de amostras de *pixels* de forma individualizada; em outras palavras, isso permite ao analista uma reconsideração de certas amostras que não estejam representando bem uma classe temática, podendo até mesmo excluí-las. Outro ponto positivo é a disponibilidade de vários algoritmos de classificação (observado também no [ENVI](#)).

Visualização da imagem

- 1) **ARQUIVO** (barra de ferramentas).
- 2) **BANCO DE DADOS** (para criar um banco de dados para o projeto).
- 3) **DIRETÓRIO** (para definir um local onde serão gravados os dados).
- 4) Determine um **nome** para o banco de dados, pressionando os comandos **CRIAR** e **ATIVAR**.
- 5) Retornando ao **ARQUIVO**, o comando **MODELO DE DADOS** deve ser aberto; um **nome** deve ser criado (este será o nome da categoria, podendo ser o mesmo criado na etapa 2). O modelo **Imagem** deve ser selecionado, pressionando, em seguida, os comandos **Criar** e **Executar**. Feche a janela.
- 6) Retornando ao **ARQUIVO**, selecione o comando **Importar arquivos GRIB**. Procure a imagem no **Diretório**, criando, em seguida, um nome no campo **Projeto**; pressione o comando **Categoria** (marque o nome criado na etapa 5). Por último, selecione uma **banda** e pressione o comando **Executar** (realize essa operação para as três bandas existentes). Feche a janela.

- 7) No **Painel de Controle** (“janela” aberta durante a inicialização do programa ou no comando **Exibir**), opte por uma banda (b1, b2 e b3) correspondente ao R, G ou B. No campo **Controle de Telas**, deixe ativada a tela 1 (várias telas podem estar ativadas ao mesmo tempo). Na barra de ferramentas, pressione os símbolos **lápis** ou **seta** para que a imagem seja visualizada.

Classificação

- 8) Na barra de ferramentas, selecione o comando **Imagem**; em seguida, o subcomando **Classificação** (...). Com a janela aberta, no campo **Contextos**, pressione a função **Criar**. Deve ser criado um nome e executado o qual ficará presente no campo **Contextos**.
- 9) Volte para a janela da “**Classificação**”. Selecione o comando “**Treinamento**”, no qual serão adquiridas as amostras para a realização da classificação supervisionada. Nessa janela do “**Treinamento**”, podem-se criar as classes temáticas, configurá-las com cores, entre outros atributos. Em seguida, basta pressionar, na barra de ferramentas, o símbolo correspondente ao cursor de área e dirigi-lo até a imagem. Pressione a função “**Adquirir**” para coletar as amostras. Execute esse procedimento para cada classe. Salve as amostras.
- 10) Elaborado o “**Treinamento**”, pressione a função “**Classificação...**”. Crie um nome e escolha um classificador (Maxver é o mais indicado).

Resultados estatísticos

- 11) Feita a classificação da imagem, é necessário criar uma imagem temática, obtendo, posteriormente, a área classificada para cada classe. Dessa forma, o usuário retorna ao “**ARQUIVO**” (barra de ferramentas), entra na função “**MODELO DE DADOS**”, marca o item “**Temático**”, criando um nome para a imagem temática. Em seguida, devem-se criar as classes temáticas que serão associadas com as classes elaboradas no treinamento (estas podem receber nomes iguais ou diferentes das já existentes, com as mesmas cores ou não).
- 12) Feito isto, retorna-se à janela da “**CLASSIFICAÇÃO**”, na qual foram coletadas as amostras da imagem para o “**treinamento**”. Escolha a função “**Mapeamento**”. Nessa área, faz-se uma associação descrita na fase 11.
- 13) A função “**PÓS-CLASSIFICAÇÃO...**”, também na janela da “**CLASSIFICAÇÃO**” deve ser executada para se obter os dados estatísticos.

- 14) Se for necessário visualizar a classificação, retorne ao **“Painel de Controle”**, selecione a imagem classificada e, na barra de ferramentas, pressione os comandos (lápis ou seta) para desenhá-la na tela.
- 15) Antes de obter os resultados, podem-se transformar os dados matriciais em vetoriais via comando **“Matriz » Vetor”**, o qual fica dentro de **“TEMÁTICO”** na barra de ferramentas.
- 16) Dentro do próprio **“TEMÁTICO”**, solicita-se o **“Cálculo de área...”**.

Observações

Na barra de ferramentas do SPRING 3.3, há uma tecla indicando **“Ajuda”**, em que é possível obter, na língua portuguesa, todas as explicações pertinentes às funções apresentadas entre outras não mencionadas.

3 – Sistema KS 300 (versão 1.2)

Visualização da imagem (qualquer extensão de imagem)

- 1) **“FILE”** (barra de ferramentas)
- 2) **“LOAD”**

CLASSIFICAÇÃO

- 3) **“SEGMENT”** (na barra de ferramentas)
- 4) **“Threshold RGB...”**. Nessa função será executada a seleção do objeto na imagem e, posteriormente, a binarização. No KS-300 há sempre a opção de entrada e saída de uma imagem (*input* e *output*). Dessa forma, o usuário deve sempre especificar, nesse campo, a imagem que está entrando no processamento e a imagem que sairá no **“Gallery”** (galeria das imagens abertas, processadas ou não), evitando, assim, que uma imagem sobreponha à outra e que se perca alguma cena já analisada anteriormente. Nessa janela aberta, deve-se marcar a opção **“Binary”**. O campo **“Overlay”** não necessita estar selecionado; quando houver a intenção de limpar a imagem da seleção, basta desseleccioná-lo. Entre os sinais existentes ($<$, $>$, $[]$, $+$, $-$, \bullet , \emptyset , 0), o primeiro, serve para retornar ou avançar para as seleções já realizadas na imagem; o segundo sinal, deve ser acionado no momento da coleta de pixels da imagem, lembrando que a imagem habilitada

para tal função é aquela presente nessa janela do **“Threshold RGB...”**, a qual poderá adquirir maiores proporções com um duplo toque sobre essa imagem; o terceiro sinal, deve ser acionado quando houver a intenção de adicionar mais uma coleta de pixels; o quarto, é utilizado para retirar algum pixel selecionado por engano, diretamente na imagem; o quinto, o sexto e o sétimo sinal têm a função de marcar a imagem no momento da seleção, ou seja, de forma preenchida, pontilhada ou apenas circulando os polígonos selecionados. O campo **“Invert”**, localizado nessa mesma janela, deve ser marcado caso haja intenção de inverter a área selecionada anteriormente. Aperte o comando **“Apply”** para verificar o resultado da binarização. Estando de acordo com o resultado, aperte o comando **“OK”**. A imagem será binarizada e aparecerá no **“Gallery”** (esse é acionado no comando **“Window”**, localizado na barra de ferramentas). É importante lembrar que nova saída de imagem deve ser selecionada (comando **“NEW”**) para não suprimir a imagem original.

- 5) A imagem binarizada pode ser tratada com funções de morfologia, localizadas no comando **“BINARY”**. Nesse comando, localizado na barra de ferramentas, há três subcomandos: **“Boolean...”**, **“Morphology...”** e **“Utilities...”**. No primeiro (**Boolean...**), é possível realizar algumas operações entre duas imagens, formando nova imagem de saída, a qual aparecerá no **“Gallery”**, como exemplo, somar ou subtrair. No segundo (**Morphology...**), é possível alterar a qualidade da imagem binarizada, aplicando alguns modelos como **“Erode”**, **“Dilate”** (para expandir os objetos selecionados), entre outras funções, que devem ser testadas pelo usuário. No terceiro (**Utilities...**), há duas funções: **“Fill Holes”** (preenchimento dos buracos entre os polígonos selecionados) e **“Scrap”** (elimina pixels com tamanho mínimo e máximo determinado pelo usuário). Para ambas as funções, entre com a imagem binarizada, e escolha nova saída. Todas as imagens descartadas podem ser levadas para uma **“lixeira”** localizada na janela do **“Gallery”**.

Resultados

- 6) O processo para a discriminação dos resultados inicia-se no comando **“Measure”**, localizado na barra de ferramentas. O primeiro subcomando é o **“Geom. Calibration...”** cuja função é estabelecer uma escala para a imagem. Essa escala pode ser estabelecida em qualquer etapa do processamento, inclusive antes da binarização. Ela também pode ser salva com um nome

qualquer, passando a ser padrão para todas as outras imagens abertas em seguida no [KS-300](#). Observe na janela aberta os campos: **"Image"** (escolha a imagem, bastando colocar seu número presente no **"Gallery"**), **"ScaleName"** (aqui encontram-se os nomes gravados que correspondem às escalas do campo **"ScaleUnit"** que fora utilizada por algum usuário anterior. O usuário atual pode escrever novo nome, o qual passará a ser um padrão. Na próxima utilização, basta selecionar esse nome que a escala já estará definida. No [KS-300](#), a memória virtual para configurações de usuários é bastante comum, aparecendo em muitas funções), **"ScaleUnit"** (diversas escalas pré-definidas). Nos demais campos, o usuário deve especificar a distância correspondente para **"X"** e para **"Y"**, ou seja, as medidas de largura e altura da imagem.

- 7) Outros comandos localizados dentro do **"Measure"**: **"Dens. Calibration"** : deixe selecionado **"percentage"**. **"Frame"**: esse comando permite que o usuário escolha a área que será avaliada na imagem binarizada. A primeira opção, por exemplo, vai avaliar a imagem inteira. Nota-se que em todas essas opções o usuário pode salvar sua configuração para usá-la em outras análises que envolvam mesmo tipo de imagem. **"Condition"**: são condições matemáticas para a classificação (consultar manual do programa ou o livro do [Caliari, 1997](#)). **"Label Setup"**: serve para escolher a apresentação gráfica da área selecionada na binarização. **"Object Setup"**: nessa janela, o usuário poderá escolher quais as análises que ele necessita realizar na imagem. As opções marcadas irão ser detalhadas no final, com cada resultado. **"Point Setup"**: utilizado para fazer medições interativas na imagem binarizada. A escala deve estar definida para se obter os resultados imediatamente após passar o "mouse" ao redor, por exemplo, de um polígono binarizado. Nessa janela há também opções para se descobrir a distância entre dois pontos, um ângulo, etc. **"Fild Setup"**: mostra as condições selecionadas no **"Object Setup"**. **"Object Label"**: nessa função é possível fazer uma junção entre duas imagens, desde que uma delas já esteja binarizada. Dessa forma, é possível verificar, por exemplo, a área selecionada na binarização sobre a imagem original (RGB). Para isto, basta entrar com a primeira imagem (binarizada) e com a segunda (binarizada ou original). A mesclagem poderá ser observada no **"display"** principal. Para apagar a sobreposição basta, com o botão direito do "mouse", selecionar o comando **"clear overlay"**. (todas as funções selecionadas pelo botão direito do "mouse" também são encontradas no **"Image"** – localizado na barra de ferramentas). A função **" Object Automatic"**

serve para se fazer uma medição direta na imagem binarizada. Para obter o resultado basta salvar tal operação com algum nome e solicitar no **"Data List..."** (encontrado dentro de **"Evaluate"**, na barra de ferramentas). No **"Object Select"** é possível obter o resultado de todos os polígonos (contornos em volta da área selecionada) ou rejeitar um por um, obtendo, assim, os valores em unidade (m², porcentagem ou número de pixels) selecionada em etapas anteriores. **"Object Interactive"**: aqui é possível selecionar a área desejada sobre a imagem original ou binarizada e obter automaticamente o resultado em unidades de medidas já estabelecidas anteriormente. Para tanto, basta movimentar o "mouse" sobre a imagem, com um "click" para marcar e dois para receber o resultado. **"Point Interactive"**: fornece distâncias percorridas pelo "mouse" sobre a imagem em questão, mas não divulga valores com em unidades de medidas, preestabelecidas. A última função do campo **"Measure"** é o **"Field Automatic"**. Com esse comando é possível observar, com o **"Data List"** aberto, um resultado correspondente à imagem original com outra binarizada (o campo **"Grey Image"**, em qualquer situação, refere-se à imagem original, colorida. O campo **"MaskImage"** corresponde sempre à imagem binarizada).

- 8) Com qualquer uma dessas operações, descritas na etapa dos "resultados" da análise, deve-se abrir o **"Data List"** para se observar os resultados.

Observações

- 1) No comando **"Enhance"**, localizado na barra de ferramentas, é possível trabalhar com o contraste da imagem, aplicação de filtros, ou seja, pode-se corrigir alguns defeitos. Mas tais operações não são obrigatórias.
- 2) Podem-se obter gráficos representativos da classificação, distribuição dos pixels selecionados, dados estatísticos, entre outros modelos, nos comandos **"Data Histogram..."** e **"Data Distribution..."**, localizados dentro de **"EVALUATE"**, na barra de ferramentas.
- 3) No comando **"IMAGE"**, na barra de ferramentas, estão as funções de configuração relacionadas com a capturação de imagens através do microscópio, lupa eletrônica ou câmera de vídeo. Estão presentes também outras funções, como as utilizadas para a cópia de uma imagem para outra janela, extrair **"Overlay"** de uma imagem, fundir um **"Overlay"** na imagem original por meio do comando **"Merge Overlay"** (é possível desenhar algo sobre a imagem utilizando ferramentas de edição – símbolo na barra de

ferramentas com uma caneta – e depois adicioná-la em uma nova imagem).

- 4) No comando “**Window**”, na barra de ferramentas, encontram-se as seguintes funções: “**Macro**” (para gravar todas as etapas percorridas no processamento e depois executá-las com outra imagem-padrão), “**Gallery**”, “**Display**” e “**Message**” (para escrever alguma informação sobre a imagem em processamento).

4 – SIARCS (versão 3.0)

As etapas de processamento no SIARCS são parecidas com àquelas mencionadas para o [KS 300](#), já que ambos os programas utilizam o processo de *Threshold* e binarização para a extração de informações.

- a) **Threshold** (definição de limites). Essa função define um limite de separação (ou intervalo), a partir do qual a imagem será segmentada, isto é, dividida em dois grupos de *pixels*: com valor 0 (zero) e 1. Os *pixels* selecionados devem corresponder à área ou ao objeto a ser quantificado.
- b) **Binarização**. Nessa etapa, após a seleção dos *pixels* de interesse (*Threshold*), a imagem é binarizada, ou seja, convertida em dois tons de cor: preto para os *pixels* com valor zero (selecionados na etapa anterior) e branco para os *pixels* com valor 1 (demais *pixels* não selecionados pelo *Threshold*). Dependendo do ponto de vista do analista, essa ordem pode ser inversa, importando apenas que os dois grupos sejam diferenciados.
- c) **Afinamento**. É uma função utilizada para refinar a binarização. É muito utilizada para a análise de raízes, em que se despreza a “borda” do objeto binarizado, permanecendo apenas a representação do seu eixo principal. Não é uma etapa obrigatória na classificação.
- d) **Contagem**. Nessa fase, já com a dimensão da imagem definida (*ANÁLISE* → *ESCALA* → *MEDIR*), é efetuada a contagem da área selecionada na classificação (*ANÁLISE* → *CONTAGEM*), oferecendo várias formas de resultados.

Observações

O SIARCS, à semelhança do sistema , classifica duas classes temáticas por vez (ex.: solo exposto e/ou vegetação). Isso se deve à necessidade do uso da binarização da imagem. Assim, deve-se repetir os procedimentos de classificação para outros alvos da imagem (folhas secas e verdes, por exemplo). Essa

característica torna mais difícil e trabalhosa a obtenção de resultados em imagens ricas em informações, isto é, com várias classes temáticas para analisar.

Por sua vez, o [SIARCS](#) apresenta grande utilidade em estudos para medição da área foliar ([Leoni et al., 1997](#)) ou na contagem de raízes em perfis de solo, em que a técnica de processamento digital vem sendo testada ([Guimarães et al., 1997](#)).

No [SIARCS](#), o *Threshold* é executado de maneira bastante simples. Ao solicitar essa função no *menu* principal, é disponibilizada uma palheta de cores que resume os *pixels* da imagem. Ao clicar sobre uma cor qualquer (uma cela da grade), são selecionados, na imagem, os *pixels* com determinado valor digital (0 - 255), simplificando a fase de seleção da área desejada. Essa seleção pode ser realizada diretamente na imagem.

Quanto à complementação ou remoção de algum *pixel* (selecionado por engano), estas são efetuadas na mesma palheta de cores do *Threshold (menu principal)*. Outra função útil refere-se ao estabelecimento das dimensões da imagem (escala), permitindo a mensuração da área classificada em unidades métricas, por exemplo.

