

IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE IMAGENS
USANDO UMA DEFINIÇÃO AMPLA PARA IMAGEM

G.J.F. Banon
IBM Centro Científico
C.P. 853
70000 Brasília DF

RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver um sistema de tratamento de imagens, visto como uma ferramenta de pesquisa, que toma em conta as principais exigências do campo. Essas exigências concernem o trabalho em vários níveis de armazenamento e de processamento, a redução dos tempos de processamento evitando a repetição de cálculos já efetuados, e a simplificação máxima do lançamento de novas tarefas.

Para isto foi adotada uma definição ampla para a noção de imagem. Nesta definição são tomados em conta todos os dados sobre a imagem, ou seja, não somente o valor de brilho de cada ponto da imagem, mas também, dados como o que representa cada ponto, como ele foi adquirido, e onde está armazenado por exemplo.

Quanto ao tratamento em si, ele foi considerado como uma aplicação sucessiva de funções elementares a partir das quais se constroem os algoritmos de processamento.

Finalmente, para melhorar mais ainda a eficiência do sistema de tratamento, considerado como um sistema com recursos limitados e facilitar seu uso, foi incluído na noção de imagem o próprio algoritmo que a produz. Em outros termos, a noção tradicional de imagem associa-se explicitamente ao que foi chamado aqui de histórico da imagem.

Com essa definição ampliada, foi construído (usando as linguagens APL e FORTRAN) um sistema de tratamento que permite trabalhar de uma nova maneira com imagens, e a um preço adicional ainda baixo.

ABSTRACT

The objective of this work is to develop an image processing system, considered as a tool for research, satisfying the main needs in the field. These needs consist in working with various levels of storage and computation, in saving the compute time avoiding repetition of calculi already done, and in simplifying the definition of new tasks.

To do that, a large sense definition for the image concept was chosen. In this definition are included all

the data relative to the image, i.e., not only the numerical value of each element in the image, but also data giving the physical meaning of these elements, the way they have been obtained and the place where there have been stored in the system.

With respect to the processing step, it has been seen as the successive application of elementary functions from which are built the processing algorithms.

Finally, to improve the efficiency of the processing system, seen as a system with finite resources, and to use-it easily, has been included in the image definition the own algorithm that produce-it. In other words, at the traditional image definition has been explicitly associated, what it has been call here, the history of the image.

From this new definition, an image processing system has been implemented (using APL and FORTRAN languages) which allows to work with the images in new way and at just a small additional cost...

1. INTRODUÇÃO

Desde a década de 60 numerosos sistemas* de tratamento de imagens foram propostos e o início da década de 80 foi o momento de fazer um novo balanço comparativo (Bernstein 1981, Duff 1981, Kulpa 1981, Preston 1981, Velasco 1981). Essa diversidade tem como causa a impossibilidade de resolver o problema do tratamento de imagens com os recursos tradicionais e bem estabelecidos de computação (memórias insuficientes e tempo de processamento excessivo). Para chegar-se a tratar as imagens sem dispor dos recursos ideais, cada centro de pesquisa foi obrigado a recorrer a soluções locais que dependiam muito dos recursos disponíveis no momento e por necessidade, da aplicação em vista (e.g. Velasco 1983). Essa situação deveria mudar com os progressos tecnológicos na área de integração a grande escala (VLSI), permitindo então, por exemplo, o uso de linguagens convencionais.

Aguardando este momento, os esforços desenvolvidos aqui foram na linha de aproveitar-se ao máximo os resultados obtidos na área da teoria dos "arrays" (e.g. More, 1981), resultados que acompanharam o desenvolvimento da linguagem APL. Assim o que foi feito, consistiu simplesmente em definir um tipo particular de "arrays" (objetos) para as "imagens" e simular funções já existentes ou novas funções que manipulassem esses objetos (conservando toda sintaxe da linguagem APL). Por essa razão o sistema proposto não é uma nova linguagem, mas sim um conjunto de funções tratando uma certa classe de objetos.

* Neste trabalho a palavra "sistema" se refere geralmente mais ao "soft" do que ao "hard + soft".

No primeiro capítulo, algumas das exigências desejáveis para um sistema de tratamento de imagens são expostos. No segundo capítulo, solução que satisfaz a essas exigências é proposta, e finalmente no último capítulo o funcionamento do sistema de tratamento construído com base nessa solução é ilustrado através de um exemplo simples.

2. EXIGÊNCIAS DESEJÁVEIS PARA UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE IMAGENS

Até um certo nível de complexidade, as exigências de um sistema de tratamento de imagens são:

- Fazer a integração de todos os recursos computacionais e inclusive de memória disponíveis para o processamento das imagens.

A configuração clássica de um suporte a um sistema de tratamento de imagens, compreende um computador de uso geral (com uma arquitetura von Neumann), um terminal a cores de alta resolução com capacidades de armazenamento e de tratamento local (com uma arquitetura não convencional do tipo "pipe-line" por exemplo, e de unidades de armazenamento auxiliar, geralmente unidade de discos (Ince, 1983)). Um sistema de tratamento de imagens deveria fazer a melhor integração possível desses recursos, deixando os problemas da localização dos dados e dos tratamentos, transparentes ao usuário do sistema.

Na configuração indicada acima as imagens podem ser armazenadas na memória central do computador de uso geral, na memória do terminal especializado para visualização e tratamento, ou ainda em discos. Por sua vez, em cada um desses suportes físicos, tem naturalmente, também o problema do endereçamento dos dados. O usuário do sistema de processamento de imagem não deveria necessariamente precisar saber aonde se encontram fisicamente as imagens que ele manipula. Quanto ao tratamento em si, já que ele pode ser efetuado em unidades de computação distintas (no computador de uso geral ou no terminal de tratamento de imagens), cada uma podendo ter uma arquitetura diferente da outra, seria também importante que a chamada às funções do sistema a serem executadas não dependessem do tipo de arquitetura de processamento, e que a decisão de usar uma específica unidade de computação seja embutida na própria função, ficando assim transparente ao usuário.

Por exemplo, uma função dedicada ao cálculo dos componentes principais de uma imagem multi-espectral poderia ser executada, em parte e com eficiência, no terminal para o processamento de imagens se seu volume (número de bandas X número de linhas X número de colunas) não for muito grande em relação à capacidade de memória disponível, e se não for o caso, automaticamente, essa função poderia recor

rer às capacidades adicionais de armazenamento oferecidas pelos discos.

- Fazer a integração de todos os dados relativos a uma imagem.

Uma imagem é geralmente vista como uma função que associa valores radiométricos a um conjunto de pontos. Além da imagem em si, dados descritivos sobre a própria imagem, como seu volume (número de bandas X número de linhas X número de colunas), seu formato (a precisão numérica para representar um valor radiométrico, 8 bits por exemplo), e a maneira como ela foi obtida, poderiam ser reunidos. A descrição do tipo de equipamento usado que produziu a imagem pode ser muito importante para futuro tratamento. Nessa descrição poderia então constar dados sobre o que representa o valor radiométrico de um ponto da imagem (por exemplo o tamanho da região retangular associado, o comprimento de onda captada), a altitude do satélite no caso de um sistema de aquisição a bordo, o número de sensores usados, o tempo de aquisição entre os pontos no caso de uma observação dinâmica. Um sistema de tratamento de imagem de veria permitir a entrada, uma vez por todas, desses dados, e seu uso automático cada vez que for necessário para a execução da função de tratamento escolhido pelo usuário. Dessa maneira, a tarefa do usuário do sistema limitar-se-ia, quando fosse possível, à escolha do próximo tratamento da(s) imagem(ns) envolvida(s). O próprio sistema dispondo das informações úteis para o tratamento evitaria carregar o usuário de uma lista longa de perguntas.

Por exemplo, para a correção geométrica do efeito de rotação da terra de uma imagem obtida a partir de um satélite de observação da terra, o sistema de tratamento de veria ser capaz de reunir todos os dados necessários para efetuar essa correção, ou seja as informações sobre a latitude do centro da imagem, a velocidade relativa e a altitude do satélite, o número de detectores e o tamanho do ponto reduzido à superfície da terra. Assim a tarefa do usuário poderia ser bem mais simples.

- Fazer a atualização dos dados associados a cada nova imagem criada.

Do processamento de uma ou mais imagens resulta uma nova imagem distinta de todas as outras não somente em si, mas também porque o processo que a gerou foi distinto de todos os outros que foram feitos a partir da ou das mesmas imagens originais. Uma das exigências de um sistema de tratamento seria a capacidade de fornecer ao usuário todas as informações que ele precisa sobre as imagens que estão à sua disposição e em particular as informações relativas aos tratamentos que levarão a uma determinada imagem (Green 1983 p. 169).

Um trabalho de interpretação geológica de uma certa região a partir de uma imagem multi-espectral de satélite, por exemplo, pode necessitar da manipulação de dezenas de imagens. Rapidamente o usuário precisa do apoio do próprio sistema de tratamento para reconhecer (sem necessitar de visualizar cada imagem (isso também não é sempre possível)) dentro de um conjunto grande de imagens, qual é a próxima imagem que ele vai tratar. Geralmente usa-se um nome para cada imagem disponível. Infelizmente, quando o número de imagens é grande, só essa associação nome-imagem mostra-se insuficiente.

- Facilitar a programação de novos tratamentos.

Numa fase de pesquisa, para chegar-se a uma nova imagem que responda às esperas do usuário, várias tentativas são geralmente necessárias. Para isto, o sistema de tratamento tem que ser interativo no sentido que o resultado de cada novo tratamento elementar pode ser testado (por visualização em forma de imagem quando for possível) antes de prosseguir de mais um passo. Quando o resultado final (geralmente uma imagem) é assim obtido, a sequência dos tratamentos que levaram à essa imagem constitui o algoritmo de tratamento. Um sistema de tratamento de imagens deveria guardar automaticamente essa sequência evitando ao usuário qualquer trabalho de programação de rotinas, dessa forma testadas.

Quando for necessário repetir um tratamento já bem sucedido com novos dados fontes, o usuário deveria apenas trocar as referências desses dados no algoritmo já usado e comprovado. Esse procedimento poderia também aplicar-se ao caso de querer testar a influência de um parâmetro sobre o resultado final. Neste caso o usuário deveria apenas trocar o valor do parâmetro em questão dentro do algoritmo já testado. Em outras palavras, o usuário teria a opção de programar novos tratamentos a partir de exemplos de outros tratamentos já executados.

Por exemplo, o ajuste do contraste de uma imagem, poderia ser obtido apenas trocando o vetor de parâmetros definindo a tabela de transformação ("Lookup table") que foi usado no processamento daquela imagem.

- Contornar o problema da limitação da capacidade de armazenamento.

Geralmente o limite de armazenamento do suporte a um sistema de tratamento de imagens é atingido muito rapidamente. Então, antes de começar um novo tratamento, a última imagem criada, ou uma imagem mais antiga tem que ser apagada para deixar espaço em memória para o próximo tratamento. Já que a obtenção de uma imagem pode ser o resultado de um longo trabalho, o sistema de tratamento deveria

oferecer a possibilidade de recriar automaticamente qualquer imagem julgada interessante que já existiu e foi apagada.

Por outro lado certas imagens podem ser vistas como resultados intermediários dentro de uma cadeia de processamento, neste caso cada uma dessas imagens deveria ser automaticamente apagada após terminado o último tratamento que a envolve, deixando assim mais espaço em memória para futuros tratamentos.

Por exemplo, com uma capacidade total de armazenamento disponível de 80 megabytes, os trabalhos de tratamentos feitos a partir de uma imagem fonte multi-espectral produzida pelo sistema MSS (Multi-spectral scanner) a bordo dos satélites da série Landsat, que ocupa 30 megabytes, rapidamente chegam a ocupar todo o espaço disponível. Para continuar a trabalhar precisa necessariamente apagar algumas imagens que poderiam ser, no entanto, de alguma utilidade na conclusão do trabalho como é o caso de querer no final, fotografar um máximo de resultados obtidos.

No próximo capítulo uma descrição de um sistema de tratamento de imagens que toma em conta todas essas exigências é feita.

3. DESCRIÇÃO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO DE IMAGENS

Um sistema de tratamento de imagens escrito na linguagem APL (com chamadas a programas escritos em forma de EXEC, na linguagem FORTRAN e/ou em linguagem de máquina) que responde às exigências apresentadas no capítulo anterior, foi desenvolvido, implementado e testado. Esse sistema é constituído de funções (programas) que manipulam objetos aqui chamados "imagens" num sentido amplo. Os termos de "imagem física" ou ainda de "dados numéricos" da imagem, usados aqui, correspondem à noção de imagem no sentido tradicional. A necessidade de uma definição ampla para as imagens já é bem reconhecida e correntemente aplicada (e.g. Chang, 1984).

De agora em diante, uma "imagem" é um objeto constituído por vários atributos. A lista desses atributos não é fechada, entre os essenciais tem-se:

- NOME
- PROTEÇÃO
- HISTÓRICO
- DADOS
- SUPORTE
- DIMENSÃO
- FORMATO.

O atributo NOME é facultativo, ele é dado pelo usuário na sua conveniência usando a função DENOMINAR

O atributo NOME é facultativo, ele é dado pelo usuário na sua conveniência usando a função DENOMINAR (exemplo de nome: REGIÃO_DE_BRASÍLIA).

O atributo PROTEÇÃO assume os valores COM, ou inteiros superiores a menos 2. Uma nova imagem tem a "proteção" menos um, o que significa que ela será automaticamente apagada quando usada num tratamento futuro. Para que ela seja salva durante futuros tratamentos, o usuário pode deixar a imagem COM "proteção" usando a função proteger.

O atributo HISTÓRICO é criado automaticamente pelo sistema. Ele é um vetor de caracteres que representa toda sequência lógica da chamada às funções que foram usadas no tratamento daquela imagem, incluindo os valores usados para os argumentos dessas funções. A sintaxe dessa sequência é a mesma que aquela usada na linguagem APL. O "histórico" serve para reconhecer uma imagem das outras (não há duas imagens com o mesmo "histórico"). Tanto o próprio sistema de tratamento de imagens como o usuário tem acesso ao HISTÓRICO para identificar as imagens.

O atributo DADOS é criado pelo sistema e resulta da execução de um tratamento (ou de uma maneira equivalente do "histórico"). Ele é geralmente um objeto numérico com três dimensões. São os "dados numéricos" da imagem que são "visualizados no vídeo".

O atributo SUPORTE é criado pelo próprio sistema de tratamento. Ele indica aonde se encontram os "dados numéricos" da imagem. Na configuração atual existem três opções. Os "dados numéricos" podem encontrar-se na memória do computador, em disco, e/ou nas memórias do HACIENDA (terminal para tratamento de imagens, Franchi 1983). O atributo SUPORTE é um vetor de três elementos que podem assumir os valores SIM ou NÃO dependendo se os "dados numéricos" encontram-se ou não no suporte físico correspondente.

O atributo DIMENSÃO é criado pelo sistema de tratamento. Ele é um vetor numérico que indica as dimensões da imagem. A dimensão de uma imagem multi-espectral com 4 bandas 1024 linhas e 512 colunas é notada pelo vetor 4 1024 512. A dimensão é característica do domínio da imagem vista como uma função matemática.

O atributo FORMATO é criado pelo sistema de tratamento. Ele indica o número de bytes (8 bits) usados para receber os valores numéricos associados a cada ponto da imagem. O formato é característica do contra-domínio da imagem vista como uma função matemática.

Em resumo, os dois primeiros atributos são normalmente os únicos sob o controle do usuário. Todos os outros são gerados pelo próprio sistema de tratamento, eles são

resultados da ação do usuário.

A um particular atributo HISTÓRICO corresponde um único atributo DADOS (assim como um único atributo DIMENSÃO e FORMATO). Essa unicidade, dá para o atributo HISTÓRICO uma importância primordial que é intensivamente explorada pelo sistema de tratamento de imagens. Por exemplo, se os "dados numéricos" de uma imagem foram apagados (para liberar espaço em memória) e se essa imagem for chamada num determinado tratamento, automaticamente esses "dados numéricos" serão recalculados através da "execução do histórico".

A sucessão das imagens criadas pelo usuário forma uma tabela de imagens cujas colunas são formadas pelos atributos descritos acima (cada linha da tabela sendo referente a uma mesma imagem).

Finalmente, associado a cada imagem, o sistema cria um "nome de trabalho" (distinto de todos os nomes já existentes) e que serve apenas como uma chave para localizar internamente aquela imagem.

No seu estágio de desenvolvimento atual, o sistema de tratamento de imagens aqui descrito, apresenta quatro conjuntos de funções.

O primeiro conjunto é constituído pelas funções de tratamento em si, elas manipulam uma ou duas imagens (no sentido descrito acima) de cada vez e começam todas com um verbo. Essas funções são escritas em APL mas podem chamar internamente programas escritos na forma de EXEC CMS ou em FORTRAN. Neste último caso pode haver no programa FORTRAN chamadas a programas escritos em linguagem de máquina (ver tabela 1).

APRESENTAR IMAGEM (para a superposição de escalas)	FH
CALCULAR COMPONENTES PRINCIPAIS	F
CALCULAR COVARIÂNCIA	F
CALCULAR DISTRIBUIÇÃO	A FH
CALCULAR HISTOGRAMA 1D	FH
CALCULAR MOMENTOS	A FH
CONCATENAR	E
CONSTRUIR FRACTAL	A FH
CONSTRUIR TRIÂNGULO DE CORES	F
CORRIGIR EFEITO ROTACÃO DA TERRA	F
CRIAR ESCALA DE CORES	A
CRIAR ESCALA GRÁFICA	A FH
CRIAR INDICADOR DE BANDAS	A FH
CRIAR PSEUDO CORES	FH
MUDAR ESCALA	F
SELECIONAR BLOCOS . . . (para a seleção das bandas)	F
TIRAR LISTRAS A	A FH
TOMAR (para a seleção de uma sub-imagem)	EFH

TRANSFORMAR (para a aplicação de um "lookup table") . FH
UNIFORMIZAR (para a uniformização dos histogramas) . .A FH

TABELA 1

FUNÇÕES DE TRATAMENTO

(Linguagem usada na definição das funções: A = APL, E = EXEC, F = FORTRAN, H = HBUS; HBUS (Host Basic User Subroutines) é um conjunto de programas escritos em linguagem de máquina para executar tarefas no terminal de tratamento de imagens HACIENDA).

Os argumentos dessas funções são os "nomes de trabalho" de uma imagem ou os "históricos". Para um bom funcionamento das funções os argumentos devem referir-se a imagens com atributos consistentes com o tipo de tratamento a ser efetuado.

O segundo conjunto é constituído pelas funções ditas de "serviço", todas elas são também verbos. Essas funções afetam o acervo das imagens sem fazer nelas, no entanto, nenhum tratamento (ver tabela 2).

APAGAR (para apagar uma imagem desprotegida)
APAGAR DADOS . (para apagar os dados de uma imagem)
DENOMINAR . . (para dar um nome a uma imagem)
COMEÇAR . . . (para começar uma seção de tratamento)
CRIAR (para criar uma imagem a partir de um histórico)
DESCARREGAR . (para descarregar os "dados numéricos" em disco)
DESPROTEGER . (para desproteger uma imagem)
ENUMERAR . . . (para enumerar as últimas imagens criadas)
INICIAR . . . (para iniciar um tratamento depois de um erro)
LISTAR (para listar todas as imagens)
MODIFICAR . . (para criar uma nova imagem a partir de um histórico modificado)
PROTEGER . . . (para proteger uma imagem)
VER. (para ver uma imagem na tela do terminal)

TABELA 2

FUNÇÕES DE SERVIÇO

O terceiro conjunto é constituído pelas funções que dão acesso aos atributos das imagens e servem tanto para questionar como para modificar um determinado atributo. Todas elas são nomes (ver tabela 3).

ALTITUDE (- do satélite que serviu na aquisição da imagem)
BANDAS (- espectrais da imagem)
CENTRO (coordenadas do - da imagem)

DADOS	(-numéricos que constituem a imagem em si)
DATA	(- de criação da imagem)
DIMENSÃO	(- da imagem)
FORMATO	(- da imagem)
HISTÓRICO	(- da imagem)
INCLINAÇÃO	(- da trajetória do satélite que serviu na aquisição da imagem)
LATITUDE	(- do centro da imagem)
NOME	(- da imagem)
NÚMERO DE DETECTORES . . .	(- usado na aquisição da imagem)
PONTO	(tamanho da região coberta pelo - da imagem)
PROTEÇÃO	(tipo de - da imagem)
SUPORTE	(- físico da imagem)
TRAÇO	(- de resultados intermediários no tratamento da imagem)
VELOCIDADE	(- do satélite que serviu na aquisição da imagem)

TABELA 3

FUNÇÕES ATRIBUTOS

O quarto conjunto é constituído pelas funções internas (ou seja aquelas que não são diretamente usadas pelo usuário, ou cuja existência não precisaria ser conhecida a não ser para programar novas funções de tratamento) . Elas são escritas em APL e podem chamar programas escritos numa outra linguagem. Essas funções servem para transferir os dados de uma imagem de um suporte físico para outro, gerar o espaço em memória do terminal para o processamento de imagens, definir a estrutura das imagens (no sentido de finido acima), ...

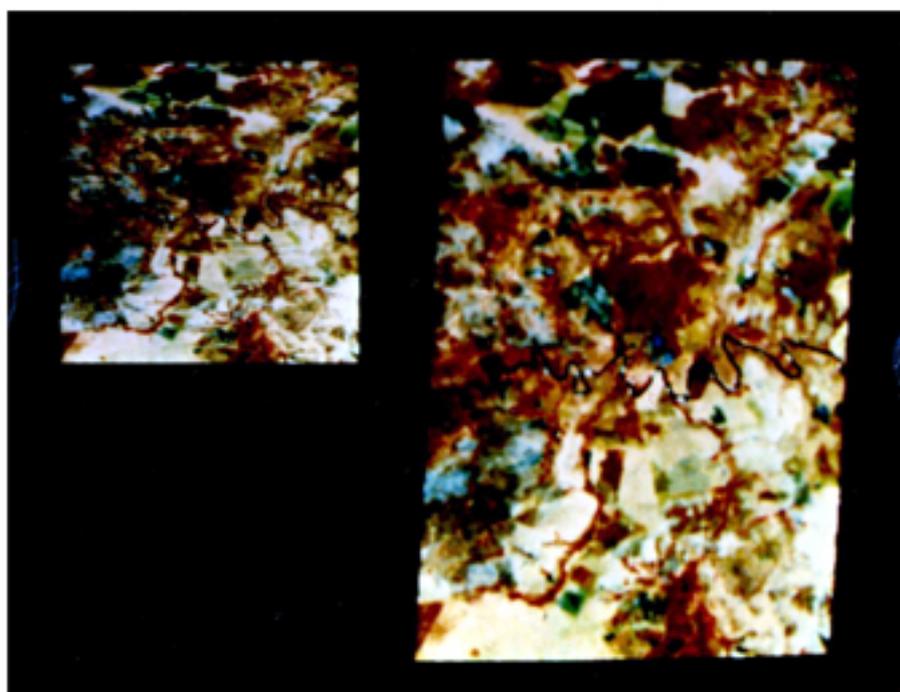
No próximo capítulo, o funcionamento desse sistema de tratamento de imagem é ilustrado através de um exemplo.

4. ILUSTRAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE IMAGEM

Para ilustrar o funcionamento do sistema de tratamento de imagem descrito no capítulo anterior, o exemplo do tratamento de uma imagem produzida pelo MSS (Multi Spectral Scanner) do LANDSAT 3, é dado.

Nesse exemplo, se procura criar uma imagem de demonstração mostrando os primeiros tratamentos geralmente efetuados numa imagem produzida pelo MSS. Esses tratamentos consistem em extrair uma sub-imagem da cena inteira , corrigir o efeito de rotação da terra, filtrar as listras ("destripping"), restituir as proporções na vertical e na horizontal e adaptar o contraste.

Para comparar a imagem original com a imagem resultante desses tratamentos, uma imagem que é o resultado da concatenação dessas duas imagens, é criada (ver fotografia 1).



FOTOGRAFIA 1

A parte da esquerda mostra os dados originais sobre o trecho do Rio Maranhão. A parte da direita mostra o mesmo trecho depois de correções radiométricas e geométricas.

IMAGEM IMG10 (ver ANEXO)

```
HISTORICO 'IMG10'  
3 1 256*256*((3.2*1+1256),(2.5*1+1256),2.6*1+1256) TRANSFORMAR('506 300'(TOMAR EIXO '2 3')'256  
256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981')CONCATENAR '506 395 40' '107677 '93022' UDAR_ESCALA('256 2'  
6'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981')TIRAR_LISTRAS_A CORRIGIR_EFEITO_ROTACAO_DA_TERRA '256 256'(TOM  
AR EIXO '2 3')'BRAS0981'
```

Toda progressão seguida nesses tratamentos é dada e comentada no ANEXO.

5. CONCLUSÃO

Utilizando-se tanto os recursos do APL como suas próprias características de linguagem funcional, foi desenvolvido, a partir de uma definição ampla para a noção de imagem, um sistema de tratamento de imagens que responde a uma série de exigências geralmente formuladas nessa área.

O ponto chave que permitiu dar uma solução a essas exigências foi o estabelecimento de uma completa equivalência entre o resultado de um tratamento (a imagem) e o programa que o gerou.

Na sua forma atual, o sistema deve ser visto como um protótipo. Alguns pontos poderiam ser aprimorados (tempo de resposta) cuidando mais do problema da comunicação dos dados entre as funções APL e os programas escritos em FORTRAN.

De uma maneira mais fundamental, deveria se aproveitar melhor da noção de variáveis encaixadas ("nested arrays"). Uma nova definição ainda mais ampla para a noção de imagem permitiria por exemplo, considerar como um objeto único a justaposição de "dados gráficos" com os "dados numéricos" de uma imagem.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERNSTEIN, R. ; KOLSKY H.G. IBM Contributions to Digital Processing, Relatório Técnico IBM Palo Alto Scientific Center G320-3426, 1981.
- CHANG, S.K. ; LIU, S.H. Picture Indexing and Abstraction Techniques for Pictorial Databases. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI6(4): 475-484, 1984.
- DUFF, M.J.B. ; LEVIALDI, S. Languages and Architectures for Image Processing. Academic Press, New York, 1981.
- FRANCHI, P. ; GONZALEZ, J. ; MANTEY, P. ; PAOLI, C. ; PAROLO, A. ; SIMMONS, J. Design Issues and Architecture of HACIENDA, an Experimental Image Processing System. IBM Journal of Research and Development, 27(2): 116-126, 1983.
- GREEN, W.B. Digital Image Processing - A Systems Approach. Van Nostrand Reinhold, New York, 1983.
- INCE, F. Digital Image Processing Systems and Remote Sensing. International Journal of Remote Sensing, 4(1), 129-148, 1983.
- KULPA, Z. Universal Digital Image Processing Systems in Europe - A Comparative Survey. Em Digital Image Processing Systems, Lecture Notes in Computer Science, 109, Springer-Verlag, New York: 1-20, 1981.
- MORE, T. Notes on the Diagrams, Logic and Operations of Array Theory. Relatório Técnico IBM Cambridge Scientific Center, G320-2137, 1981.
- PRESTON, K.Jr. Image Processing Software - A Survey. Em Progress in Pattern Recognition, 1, editado por KANAL, L. N. e ROSENFELD, A., North-Holland, New York: 123-148, 1981.
- VELASCO, F.R.D. ; MASCARENHAS, N.D.A. Image Processing Systems - A Comparative Analysis. Relatório Técnico INPE-2464-NTE/188, 1982.
- VELASCO, F.R.D. ; LIMA, U.M.B. ; SANTELLANO, J. ; OLIVEIRA J.L. Descrição do suporte lógico de um sistema de processamento de imagens. Relatório Técnico INPE-2783-PRE/349, 1983.

ANEXO

Nesse anexo e' apresentado (em 20 sub-seções) um exemplo de uso do sistema de tratamento de imagem descrito no capítulo 2.

!- As linhas que começam na coluna 7, correspondem as linhas entradas pelo usuário.

!- As linhas que começam na coluna 1 e que não começam com '(', correspondem as linhas produzidas pelo sistema.

Os comentários começam por "(" e são escritos em letras minúsculas.

(1----- carregar a "workspace" -----

```

)LOAD TRIM2
SAVED 13.50.04 9/17/84 (GMT) 15B7K(1567K)
LISTAR
    
```

(não tem imagem

(2----- gerar a imagem fonte -----

```

CRIAR 'BRAS0981'
BRAS0981 (imagem fonte criada
(os "dados numericos" da imagem BRAS0981 são os dados dos arquivos com "file name" BRAS0981

LISTAR
BRAS0981 (nome de trabalho da primeira imagem
MSS_DO_LANDSAT3 'BRAS0981' (indicar o sistema de aquisição da imagem
'BRAS0981' BANDAS 4 5 7 (indicar o numero das bandas
'BRAS0981' LATITUDE 15 (indicar a latitude do centro da imagem (graus)
    
```

(3----- indagar sobre os atributos da imagem fonte -----

(nessa sub-seção não tem ainda tratamento, mas somente perguntas sobre o valor dos atributos de (BRAS0981

```

DIMENSAO 'BRAS0981'
3 2983 3548 (dimensão da imagem, 3 bandas, 2983 linhas e 3548 colunas
FORMATO 'BRAS0981'
1 (formato 1 byte
PONTO 'BRAS0981'
79 57 (tamanho do ponto reduzido a superficie da terra (metros)
CENTRO 'BRAS0981'
0 0 (coordenados do centro (metros)
BANDAS 'BRAS0981'
4 5 7 (numero das bandas
LATITUDE 'BRAS0981'
15 (latitude do centro (graus)
INCLINACAO 'BRAS0981'
9 (inclinação da trajetoria (graus)
VELOCIDADE 'BRAS0981'
7404 (velocidade do satellite (metros/segundo)
NUMERO_DE_DETECTORES 'BRAS0981'
6 (numero de detectores do sistema de aquisição da imagem
ALTITUDE 'BRAS0981'
907655 (altitude do satellite (metros)
    
```

(4----- enumerar as 5 primeiras imagens -----

```

ENUMERAR 5
1 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA] (so' tem uma imagem
  NOME DIMENSAO SUPORTE PROTECAO
    (1) (2) (3)
BRAS0981 3 2983 3548 NAO SIM NAO COM (os "dados numericos" estão em disco
    
```

(5----- extrair uma sub-imagem -----

(nessa sub-seção e' apresentado um primeiro tratamento que consiste em extrair uma sub-imagem da (imagem fonte BRAS0981

```

'256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981'
IMG1 (nome de trabalho da sub-imagem
(os "dados numericos" de IMG1 são as 256 primeiras linhas (eixo 2) e colunas (eixo 3) de todas as
(bandas (eixo 1) da imagem BRAS0981
    
```

```

ENUMERAR 5
2 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA] (ja' são duas
  NOME DIMENSAO SUPORTE PROTECAO
    (1) (2) (3)
IMG1 3 256 256 NAO SIM NAO -1 (sem proteção
BRAS0981 3 2983 3548 NAO SIM NAO COM (com proteção
    
```

(6----- proteger a sub-imagem -----

(para conservar IMG1 apos tratamentos futuros, se deve "proteger" essa imagem

```

PROTEGER 'IMG1'
IMG1 PROTEGIDO
ENUMERAR 5
2 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA]
  NOME DIMENSAO SUPORTE PROTECAO
    (1) (2) (3)
IMG1 3 256 256 NAO SIM NAO COM (com proteção
BRAS0981 3 2983 3548 NAO SIM NAO COM
(agora IMG1 aparece com proteção
    
```

(7----- corrigir geometricamente a sub-imagem -----)

(a imagem IMG1 precisa ser corrigida geometricamente para compensar o efeito de rotaçao da terra durante seu tempo de aquisiçao)

```

CORRIGIR_EFEITO_ROTACAO_DA_TERRA 'IMG1'
IMG2 (nome de trabalho da sub-imagem corrigida)
  ENUMERAR 5
  3 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA]
      NOME DIMENSAO SUPORTE PROTECAO
          (1) (2) (3)
IMG2      3 256 277   NAO SIM NAO   COM
IMG1      3 256 256   NAO SIM NAO   COM
BRAS09B1  3 2983 3548 NAO SIM NAO   COM

```

(8----- indagar sobre o historico das tres imagens -----)

```

HISTORICO 'BRAS09B1'
BRAS09B1 (historico da imagem BRAS09B1)
  HISTORICO 'IMG1'
  '256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS09B1' (historico da imagem IMG1)
  HISTORICO 'IMG2'
CORRIGIR_EFEITO_ROTACAO_DA_TERRA '256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS09B1' (historico da imagem IMG2)
  (o argumento da funçao CORRIGIR_EFEITO_ROTACAO_DA_TERRA e' o historico da imagem IMG1)

```

(9----- corrigir radiometricamente a sub-imagem -----)

(a imagem IMG2 precisa ser filtrada para eliminar o efeito de listras sempre presente nas imagens adquiridas atraves do MSS)

```

'IMG1' TIRAR_LISTRAS_A 'IMG2'
IMG3 (nome de trabalho da imagem resultante)
  (IMG2 e' a imagem a ser corrigida a partir da estatistica da imagem IMG1)
  PROTEGER 'IMG3'
IMG3 PROTEGIDO
  ENUMERAR 5
  3 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA]
      NOME DIMENSAO SUPORTE PROTECAO
          (1) (2) (3)
IMG3      3 256 277   NAO SIM NAO   COM
IMG1      3 256 256   NAO SIM NAO   COM
BRAS09B1  3 2983 3548 NAO SIM NAO   COM

```

(a sub-imagem IMG2, sem proteçao (ver sub-seçao 7), foi automaticamente apagada no final do tratamento de correçao do efeito de rotaçao da terra, liberando assim um espaco em disco)

```

HISTORICO 'IMG3'
('256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS09B1')TIRAR_LISTRAS_A CORRIGIR_EFEITO_ROTACAO_DA_TERRA '256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS09B1'

```

(10----- corrigir o tamanho do ponto da sub-imagem -----)

(a imagem IMG3 precisa ser novamente corrigida geometricamente para tornar quadrada a regiao representativa dos pontos da imagem)

```

PONTO 'IMG3'
79 57 (tamanho da regiao coberta pelo ponto da sub-imagem)
  79 57x256 277
20224 15789 (tamanho da regiao coberta pela sub-imagem)
  20224 15789+40
505.6 394.725 (dimensao da imagem cobrindo a mesma regiao mas com um ponto de 40 por 40)
CENTRO 'IMG3'
-107677 -93822 (distancia do centro de IMG3 ao centro de BRAS09B1, a imagem fonte)
  '506 395 40' '-107677 -93822' MUDAR_ESCALA 'IMG3'
IMG2 (nome de trabalho da imagem resultante)
  PROTEGER 'IMG2'
IMG2 PROTEGIDO
  ENUMERAR 5

```

```

  4 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA]
      NOME DIMENSAO SUPORTE PROTECAO
          (1) (2) (3)
IMG2      3 506 395   NAO SIM NAO   COM
IMG3      3 256 277   NAO SIM NAO   COM
IMG1      3 256 256   NAO SIM NAO   COM
BRAS09B1  3 2983 3548 NAO SIM NAO   COM

```

(11----- criar uma tabela de transformaçao ("lookup table") -----)

(antes de visualizar os "dados numericos" de IMG2, presisa-se criar uma tabela de cores CRIAR '3 1 256p255LL(2.6x^-1+1256), (2.6x^-1+1256), 2.6x^-1+1256')

```

IMG4 (nome de trabalho da tabela de transformaçao)
  PROTEGER 'IMG4'
IMG4 PROTEGIDO
  'MSS_HACIENDA' DENOMINAR 'IMG4' (dar um valor ao atributo NOME)
IMG4 DENOMINADO MSS_HACIENDA
  ENUMERAR 6
  5 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA]
      NOME DIMENSAO SUPORTE PROTECAO
          (1) (2) (3)
IMG4      MSS_HACIENDA 3 1 256   SIM NAO NAO   COM (tem um nome)
IMG2      3 506 395   NAO SIM NAO   COM
IMG3      3 256 277   NAO SIM NAO   COM
IMG1      3 256 256   NAO SIM NAO   COM
BRAS09B1  3 2983 3548 NAO SIM NAO   COM

```

(12----- transformar pontualmente -----)

(agora aplica-se a tabela de transformação MSS_HACIENDA criada na sub-seção 11 para transformar IMG2

MSS_HACIENDA TRANSFORMAR 'IMG2'

IMG5 (nome de trabalho da imagem transformada)

PROTEGER 'IMG5'

IMG5 PROTEGIDO

ENUMERAR 6

6 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA]

	NOME	DIMENSAO	SUPORTE	PROTECAO
			(1) (2) (3)	
IMG5		3 506 395	NAO NAO SIM	COM
IMG4	MSS_HACIENDA	3 1 256	SIM SIM NAO	COM
IMG2		3 506 395	NAO SIM SIM	COM
IMG3		3 256 277	NAO SIM NAO	COM
IMG1		3 256 256	NAO SIM NAO	COM
BRAS0981		3 2983 3548	NAO SIM NAO	COM

(observa-se que os "dados numericos" de IMG2 foram carregados nas memorias do HACIENDA aonde foi efetuada a transformação dos dados, o resultado IMG5 encontra-se tambem nas memorias do HACIENDA HISTORICO 'IMG5')

'3 1 256p255LL(2.6x⁻¹+1256),(2.6x⁻¹+1256),2.6x⁻¹+1256' TRANSFORMAR '506 395 40' '-107677 -93822' MUDAR_ESCALA('256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981')TIRAR_LISTRAS_A CORRIGIR_EFEITO_ROTACAO_DA_TERRA 'ERRA '256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981'

(13----- ver a imagem IMG5 -----)

VER 'IMG5'

(14----- modificar o contraste da imagem -----)

(a aplicação da tabela MSS_HACIENDA levou a uma imagem muito amarelada, precisa-se criar uma nova tabela (aumentando a intensidade do azul) e aplicar no seu lugar essa nova tabela

MODIFICAR 'IMG5'

'3 1 256p255LL(3.2x⁻¹+1256),(2.5x⁻¹+1256),2.6x⁻¹+1256' TRANSFORMAR '506 395 40' '-107677 -93822' MUDAR_ESCALA('256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981')TIRAR_LISTRAS_A CORRIGIR_EFEITO_ROTACAO_DA_TERRA '256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981'

IMG7 (nome de trabalho da imagem modificada)

(ao chamar a função MODIFICAR com argumento 'IMG5', o historico de IMG5 e' mostrado e foi aqui (modificado trocando o primeiro parametro 2.6 para 3.2 (aumentando assim a intensidade do azul) e o segundo parametro 2.6 para 2.5 (diminuindo assim a intensidade do verde). O terceiro parametro (2.6 não foi modificado (deixando igual a intensidade do vermelho)

PROTEGER 'IMG7'

IMG7 PROTEGIDO

ENUMERAR 9

7 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA]

	NOME	DIMENSAO	SUPORTE	PROTECAO
			(1) (2) (3)	
IMG7		3 506 395	NAO NAO SIM	COM
IMG5		3 506 395	NAO SIM NAO	COM (em disco)
IMG4	MSS_HACIENDA	3 1 256	SIM SIM NAO	COM
IMG2		3 506 395	NAO SIM SIM	COM
IMG3		3 256 277	NAO SIM NAO	COM
IMG1		3 256 256	NAO SIM NAO	COM
BRAS0981		3 2983 3548	NAO SIM NAO	COM

(os "dados numericos" do resultado IMG7 dessa ultima transformação encontram-se nas memorias do HACIENDA

(ja' que não tinha mais espaço nas memorias do HACIENDA, os "dados numericos" da imagem IMG5 foram automaticamente salvos em disco

HISTORICO 'IMG7'

'3 1 256p255LL(3.2x⁻¹+1256),(2.5x⁻¹+1256),2.6x⁻¹+1256' TRANSFORMAR '506 395 40' '-107677 -93822' MUDAR_ESCALA('256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981')TIRAR_LISTRAS_A CORRIGIR_EFEITO_ROTACAO_DA_TERRA 'ERRA '256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981'
VER 'IMG7' (visualizar a imagem)

(15----- concatenar duas imagens -----)

(para juntar a sub-imagem original com a sub-imagem corrigida usa-se a função CONCATENAR, antes de usar essa função se deve adaptar as dimensoes da imagem original, aumentando o numero de linhas (para 506 (para igualar-se ao numero de linhas da imagem corrigida) e o numero de colunas para 300 ((para criar um espaço branco entre as duas imagens)

'506 300'(TOMAR EIXO '2 3')'IMG1'

IMG6 (nome de trabalho da imagem aumentada)

PROTEGER 'IMG6'

IMG6 PROTEGIDO

'IMG6' CONCATENAR 'IMG2'

IMG8 (nome de trabalho da imagem

(resultante da concatenação

PROTEGER 'IMG8'

IMG8 PROTEGIDO

ENUMERAR 9

9 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA]

	NOME	DIMENSAO	SUPORTE	PROTECAO
			(1) (2) (3)	
IMG8		3 506 695	NAO SIM NAO	COM
IMG6		3 506 300	NAO SIM NAO	COM
IMG7		3 506 395	NAO NAO SIM	COM
IMG5		3 506 395	NAO SIM NAO	COM

```

IMG4      MSS_HACIENDA  3 1 256      SIM SIM NAO  COM
IMG2      3 506 395      NAO SIM SIM  COM
IMG3      3 256 277      NAO SIM NAO  COM
IMG1      3 256 256      NAO SIM NAO  COM
BRAS0981  3 2983 3548    NAO SIM NAO  COM
HISTORICO 'IMG6'
'506 300'(TOMAR EIXO '2 3')'256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981'
HISTORICO 'IMGB'
('506 300'(TOMAR EIXO '2 3')'256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981')CONCATENAR '506 395 40' '-107677
-93822' MUDAR_ESCALA('256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981')TIRAR_LISTRAS_A CORRIGIR_EFEITO_RO
TACAO_DA_TERRA '256 256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981'

```

(16----- transformar pontualmente -----)

```

(a fim de visualizar o resultado da concatenação, uma transformação pontual e' necessaria
(para aplicar a tabela de transformação usada no tratamento que produziu IMG7, o mais simples e'
(usar a função MODIFICAR com argumento 'IMG7', e(conservar do historico de IMG7 so' a ultima parte,
(aonde aparece essa tabela
MODIFICAR 'IMG7'
'3 1 256p255L((3.2x~1+1256),(2.5x~1+1256),2.6x~1+1256' TRANSFORMAR 'IMGB'
IMG10                                           (nome de trabalho da imagem transformada)

```

```

IMG10 PROTEGIDO
ENUMERAR 11
10 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA]
    NOME          DIMENSAO      SUPORTE      PROTECAO
                    (1) (2) (3)
IMG10             3 506 695      NAO NAO SIM  COM
IMG8              3 506 695      NAO SIM SIM  COM
IMG6              3 506 300      NAO SIM NAO  COM
IMG7              3 506 395      NAO SIM NAO  COM          (em disco)
IMG5              3 506 395      NAO SIM NAO  COM
IMG4      MSS_HACIENDA  3 1 256      SIM SIM NAO  COM
IMG2          3 506 395      NAO SIM NAO  COM
IMG3          3 256 277      NAO SIM NAO  COM
IMG1          3 256 256      NAO SIM NAO  COM
BRAS0981     3 2983 3548    NAO SIM NAO  COM
HISTORICO 'IMG10'
'3 1 256p255L((3.2x~1+1256),(2.5x~1+1256),2.6x~1+1256' TRANSFORMAR('506 300'(TOMAR EIXO '2 3')'256
256'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981')CONCATENAR '506 395 40' '-107677 -93822' UDAR_ESCALA('256 25
6'(TOMAR EIXO '2 3')'BRAS0981')TIRAR_LISTRAS_A CORRIGIR_EFEITO_ROTACAO_DA_TERRA '256 256'(TOM
AR EIXO '2 3')'BRAS0981'
VER 'IMG10'                                           (visualizar a imagem)

```

(17----- Liberar espaço em memoria apagando os "dados numericos" -----)

```

(nessa sub-seção e na seguinte, e' ilustrada a possibilidade de apagar-se os("dados numericos" para
(Liberar espaços em disco e recriar-se uma parte deles desde o momento que for conveniente
APAGAR_DADOS" 'IMG10' 'IMGB' 'IMG6' 'IMG3'
NAO NAO NAO
NAO NAO NAO
NAO NAO NAO
NAO NAO NAO
ENUMERAR 11
10 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA]
    NOME          DIMENSAO      SUPORTE      PROTECAO
                    (1) (2) (3)
IMG10             3 506 695      NAO NAO NAO  COM          (apagados)
IMG8              3 506 695      NAO NAO NAO  COM          (apagados)
IMG6              3 506 300      NAO NAO NAO  COM          (apagados)
IMG7              3 506 395      NAO SIM NAO  COM
IMG5              3 506 395      NAO SIM NAO  COM
IMG4      MSS_HACIENDA  3 1 256      SIM SIM NAO  COM
IMG2          3 506 395      NAO SIM NAO  COM
IMG3          3 256 277      NAO NAO NAO  COM          (apagados)
IMG1          3 256 256      NAO SIM NAO  COM
BRAS0981     3 2983 3548    NAO SIM NAO  COM

```

(18----- recriar os "dados numericos" apagados -----)

```

(para recriar os "dados numericos" apagados da imagem IMG10, usa-se a função CRIAR
CRIAR 'IMG10'
IMG10                                           (mesmo nome de trabalho)
ENUMERAR 11
10 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA]
    NOME          DIMENSAO      SUPORTE      PROTECAO
                    (1) (2) (3)
IMG10             3 506 695      NAO NAO SIM  COM          (recriados)
IMG8              3 506 695      NAO SIM SIM  COM          (recriados)
IMG6              3 506 300      NAO SIM NAO  COM          (recriados)
IMG7              3 506 395      NAO SIM NAO  COM
IMG5              3 506 395      NAO SIM NAO  COM
IMG4      MSS_HACIENDA  3 1 256      SIM SIM NAO  COM
IMG2          3 506 395      NAO SIM NAO  COM
IMG3          3 256 277      NAO NAO NAO  COM          (não recriados)
IMG1          3 256 256      NAO SIM NAO  COM
BRAS0981     3 2983 3548    NAO SIM NAO  COM
(obsERVE-se que os "dados numericos" da imagem IMG10 foram recriados,(encontram-se nas memorias do
(HACIENDA)

```

(observe-se tambem que os "dados numericos" de IMG8 e IMG6 foram recriados, (isso foi necessario (porque IMG8 e IMG6 são resultados intermediarios no tratamento de IMG10, esses dados não foram (apagados porque IMG8 e IMG6 são protegidas
 (observa-se finalmente que os "dados numericos" de IMG3 não foram recriados, (isso aconteceu, apesar (de IMG3 ser um resultado intermediario no tratamento de IMG10, porque seus "dados numericos" não (precisavam ser reconstituídos, IMG3 se situando "debaixo" de IMG2 cujos "dados numericos" não (tinham sido apagados

(19----- descarregar os "dados numericos" -----

(antes de terminar essa seção precisa salvar em discos os "dados numericos" que encontram-se nas (memorias do HACIENDA

```
DESCARREGAR 'IMG10'
IMG10 DESCARREGADO
ENUMERAR 3 (so' as 3 primeiras imagens)
10 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA]
      NOME DIMENSAO SUPORTE PROTECAO
      (1) (2) (3)
IMG10      3 506 695   NAO SIM SIM   COM   (descarregados em disco)
IMG8       3 506 695   NAO SIM SIM   COM
IMG6       3 506 300   NAO SIM NAO   COM
```

(20----- apagar algumas imagens -----

(as imagens consideradas sem interesses para os tratamentos futuros podem ser apagadas, antes de (apagar se deve "desproteger" as imagens correspondentes

```
DESPROTEGER 'IMG1' 'IMG3' 'IMG4' 'IMG6'
IMG1 DESPROTEGIDO IMG3 DESPROTEGIDO IMG4 DESPROTEGIDO IMG6 DESPROTEGIDO
APAGAR 'IMG1' 'IMG3' 'IMG4' 'IMG6'
IMG1 APAGADO IMG3 APAGADO IMG4 APAGADO IMG6 APAGADO
ENUMERAR 9
6 [(1) = WORKSPACE ; (2) = DISCO ; (3) = HACIENDA] (agora são so' 6)
      NOME DIMENSAO SUPORTE PROTECAO
      (1) (2) (3)
IMG10      3 506 695   NAO SIM SIM   COM
IMG8       3 506 695   NAO SIM SIM   COM
IMG7       3 506 395   NAO SIM NAO   COM
IMG5       3 506 395   NAO SIM NAO   COM
IMG2       3 506 395   NAO SIM NAO   COM
BRAS0981   3 2983 3548 NAO SIM NAO   COM
)OFF
```