

# FORMATAÇÃO, COMPRESSÃO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS LANDSAT NO COMPUTADOR BURROUGHS B6800

G.J. Erthal, O. de O. Silva, C. de R. e Souza e L. Yalmanian

Instituto de Pesquisas Espaciais

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

Caixa Postal 515, 12200 - São José dos Campos, SP. Brasil

## RESUMO

Mesmo sem a existência de um monitor a cores para a observação visual de imagens, é de interesse a possibilidade de processar imagens LANDSAT, a partir de CCTs, em um computador relativamente rápido e de uso geral como o BURROUGHS B6800. Afim de diminuir a área de armazenagem necessária para imagens completas do MSS, métodos de compactação sem perda de informação são aconselháveis. Neste trabalho, é descrito um pacote de "software" que permite formatar imagens MSS em fita magnética e criar arquivos de imagem em disco, havendo a possibilidade de compactação dos dados. O novo formato é proposto e analisado. Um conjunto de técnicas de compactação é apresentado, juntamente com sua avaliação com relação ao tempo de processamento e à razão de compressão (espaço de memória necessário para a armazenagem).

## ABSTRACT

Even not having a color monitor to display images, it might be efficient to process LANDSAT images, obtained from CCT's, in a reasonably fast general purpose computer such as the BURROUGHS B6800. The use of information lossless image compression methods, in order to reduce the storage area of complete MSS images, is then advisable. In this paper, a software package to format MSS images on tape and disk allowing image compression is presented. The new image format is proposed and analysed. Several image compression techniques are presented, together with their evaluation with respect to processing times and compression ratios.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, no INPE, grande parte das atividades ligadas à área de processamento de imagens, que utiliza dados do sistema LANDSAT, são realizadas no Laboratório de Tratamento Automático de Imagens (LTAI) com base no computador PDP-11/45, ao qual está ligado, além de outros periféricos, o Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectral Image-100, produzido pela General Electric.

Existe, porém, o interesse entre pesquisadores e usuários ligados à área na utilização do computador BURROUGHS B6800, existente neste instituto, para a realização de tarefas que tenham como características básicas: exigir uma interação mínima com o usuário (alto grau de automação) e manipular grandes massas de dados que dispendam prolongado tempo de processamento como, por exemplo, a aplicação de programas de correção geométrica, registro e agrupamento ("clustering").

Este trabalho visa dar o passo inicial no sentido da realização destes objetivos,

sendo sua contribuição principal tornar disponível um sistema interativo de fácil utilização, que permita: 1) criar arquivos de imagem em disco, a partir de dados armazenados em fitas magnéticas compatíveis com computador (Produzidas pelo Laboratório Eletrônico de Processamento de Imagens de Cachoeira Paulista); 2) gerar arquivos em fita magnética, utilizando-se um formato mais versátil para o armazenamento dos dados de imagem e, como no item anterior, permitir a geração de arquivos em disco, para fitas que utilizam este formato; 3) conhecido o grande volume de dados contido numa imagem LANDSAT - MSS (da ordem de 30 "megabytes"), possibilitar a redução deste volume pela utilização de métodos de compactação de dados sem perda de informação e, também, pela geração de fitas, usando-se maior densidade ("bytes" por polegada) de gravação.

## 2. O SISTEMA LANDSAT

Em atividade desde 1972, quando o primeiro satélite da série foi lançado (no total são 3 satélites), o sistema LANDSAT foi desenvolvido com a finalidade de realizar o levantamento

mento e monitorização dos recursos naturais do planeta.

Basicamente 2 tipos de sensores são transportados pelos satélites LANDSAT: um imageador multiespectral de varredura (MSS - "Multispectral Scanning System") e um conjunto de câmaras vidicon (RBV - "Return beam Vidicon"). Além destes, ainda existem sub-sistemas para gravação, coleta e transmissão de dados, controle de atitude, etc.

Os dados do LANDSAT são adquiridos, no País, através da Estação de Rastreamento, Recepção e Gravação de dados de Cuiabá, onde são armazenados em fitas de alta densidade. Estas fitas são enviadas ao Laboratório Eletrônico de Processamento de Imagens de Cachoeira Paulista, onde são processadas, tornando-se disponíveis aos usuários sob a forma de imagens multiespectrais fotográficas, ou formatadas e gravadas em fitas compatíveis com o computador (CCT - "Computer Compatible Tapes").

As fitas CCTs são geradas utilizando-se os dados do MSS. Este sistema possui um espelho que oscila continuamente, fazendo uma varredura na direção perpendicular à do deslocamento do satélite e abrangendo uma largura de 185km na superfície (à altitude nominal). O MSS do LANDSAT obtém imagens em 4 bandas espectrais (ou canais) que operam no intervalo espectral: 0,5 a 1,1 micrometros. Utilizando-se 6 detetores por canal, somam-se no total 24 detetores para a obtenção dos dados de imagem. Os canais, por convenção, são numerados da seguinte maneira: 4 (0,5 a 0,6 $\mu$ m), 5 (0,6 a 0,7 $\mu$ m), 6 (0,7 a 0,8 $\mu$ m) e 7 (0,8 a 1,1 $\mu$ m). Maiores detalhes podem ser encontrados em NASA (1970), Palestino (1976) e INPE (1980).

O processo de aquisição de dados é contínuo. Posteriormente, as imagens são formatadas pela justaposição das linhas de varredura, em quadros de 185x185km, sendo que, para cada quadro, quatro imagens em faixas diferentes do espectro são geradas.

As imagens, no caso das CCT, são armazenadas num formato que será discutido a seguir.

### 3. CCT - FORMATO ATUAL

Aqui será feita uma análise do formato atual das fitas CCT, produzidas e utilizadas no INPE, apenas com relação ao modo como estão armazenados os dados de imagem, sem premissões com outras informações contidas nas fitas.

Cada imagem LANDSAT-MSS pode ser vista como uma matriz de pontos de 3 dimensões, que são: número de elementos de imagem ("pixels") por linha, número de linhas e número de canais. Estas dimensões são usualmente 3218, 2352 e 4, respectivamente, podendo as duas primeiras variar de uma imagem para outra.

Este volume de dados é armazenado em dois rolos de fitas magnéticas de 2400 pés e densidade de 800 bpi ("bytes per inch"). A cena é dividida em 8 faixas verticais, chamadas também de oitavos, gravadas como arquivos separados (4 em cada fita). Há dois modos possíveis de gravação, que podem ser vistos na Figura 1, juntamente com a divisão da cena em faixas. Há em torno de 8% de sobreposição entre faixas adjacentes, isto é, n pontos ao final de uma faixa são iguais aos n primeiros pontos na faixa seguinte a esta (n pode variar de uma imagem gravada para outra).

Cada arquivo contém um cabeçalho, constituído de dois registros, contendo informações sobre a organização do arquivo e também sobre a imagem. Após o cabeçalho, segue-se um conjunto de registros de vídeo, sendo que cada registro contém um segmento de uma linha de imagem (informações nos 4 canais). Os registros têm (4m+56) "bytes", onde m é o comprimento do segmento em "pixels" (normalmente 432). Os últimos 56 "bytes" são dados referentes aos sensores.

Para a gravação, o formato usado é o BIP2 ("Band Interleaved by Pixel Pairs"), representado na Figura 2.

Pode-se perceber que este formato de armazenagem é pouco versátil, não só por exigir um esforço computacional razoável para o carregamento de imagens em disco, mas também pela necessidade de utilizar duas fitas magnéticas para guardar uma imagem inteira.

### 4. CCT - FORMATO PROPOSTO

Tendo em vista os motivos levantados acima, um formato mais conveniente foi estudado e será agora descrito. Cumpre ressaltar que este formato já é utilizado em vários países que utilizam o sistema LANDSAT.

Primeiramente, para permitir uma redução do volume físico ocupado pelas imagens, a densidade de gravação foi dobrada com relação à utilizada anteriormente (de 800 para 1600 bpi), o que já permite que se use apenas uma fita de 2400 pés para armazenar uma imagem inteira do LANDSAT.

Internamente, as informações estão organizadas da seguinte maneira: um cabeçalho for

mado pelos dois registros iniciais e  $(4n)$  registros de dados de imagem, sendo  $n$  o número total de linhas na imagem.

Os dois registros que formam o cabeçalho são idênticos em conteúdo; diferem apenas pelo fato do primeiro ser gravado em EBCDIC, e o segundo em ASCII. Isto facilita a obtenção dos dados destes registros tanto no Burroughs B6800, quanto no PDP 11/45. As informações contidas neste cabeçalho são basicamente as mesmas obtidas das CCTs originais, além de dados suplementares referentes ao novo formato utilizado.

Os dados de imagem são gravados utilizando-se o formato BIL ("Band Interlieved by

Lines"). Desta maneira, cada registro representa uma linha inteira de imagem e cada grupo de 4 registros contém dados referentes a mesma linha, mas em canais diferentes, sendo a ordem dos canais: 4, 5, 6 e 7. Uma representação simplificada do formato pode ser observada na Figura 3.

Se forem comparados os dois formatos de armazenamento, concluir-se-á facilmente que a opção pelo segundo formato oferece mais vantagens, dada a sua versatilidade.

De maneira resumida tem-se a seguinte configuração para o produto final padrão: fita de 2400 pés, 1600 bpi, com dados de imagem no formato BIL.

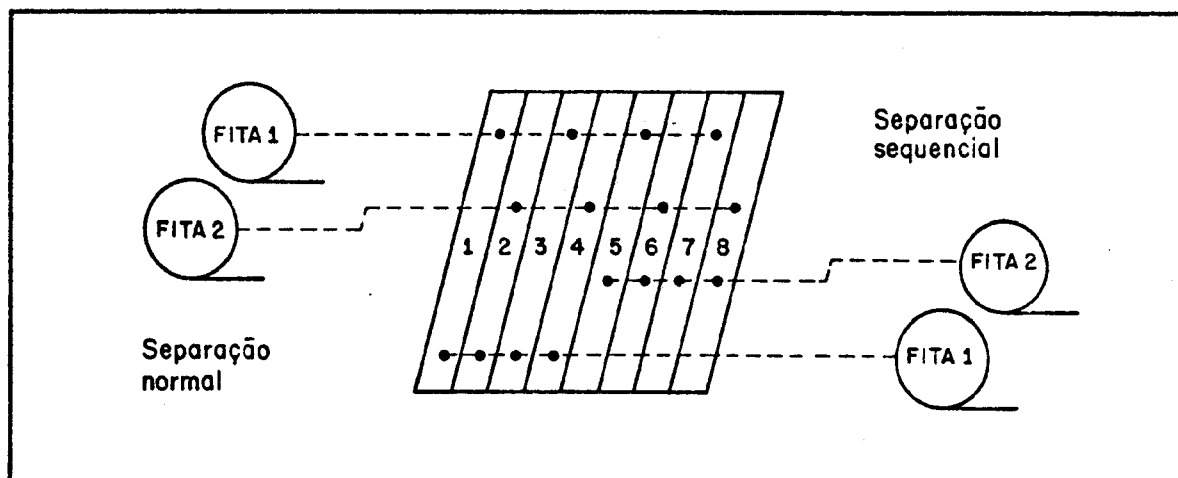


Fig. 1 - Distribuição de arquivos.

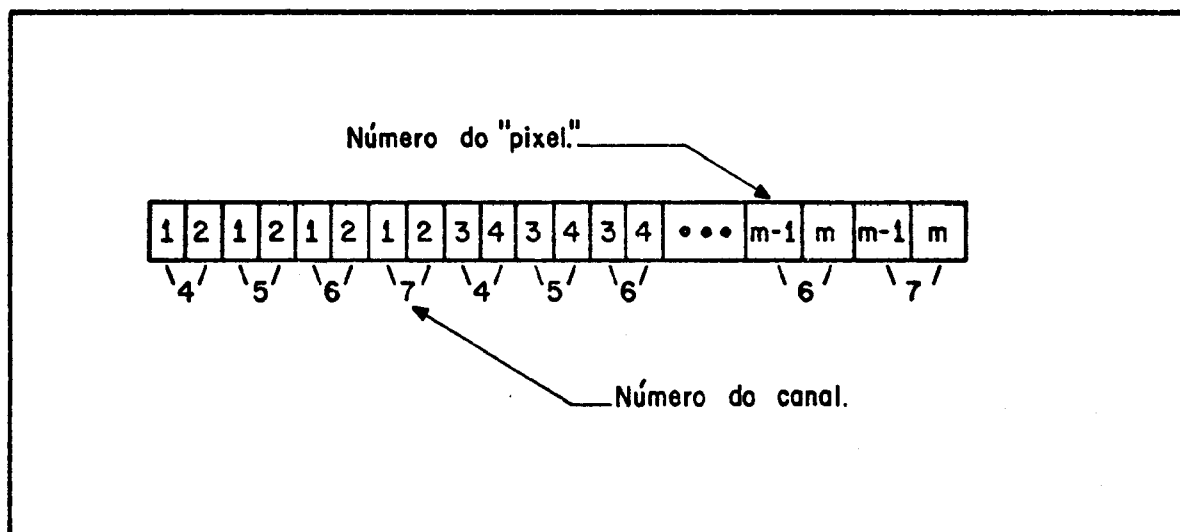


Fig. 2 - Dados de imagem em formato BIP2.

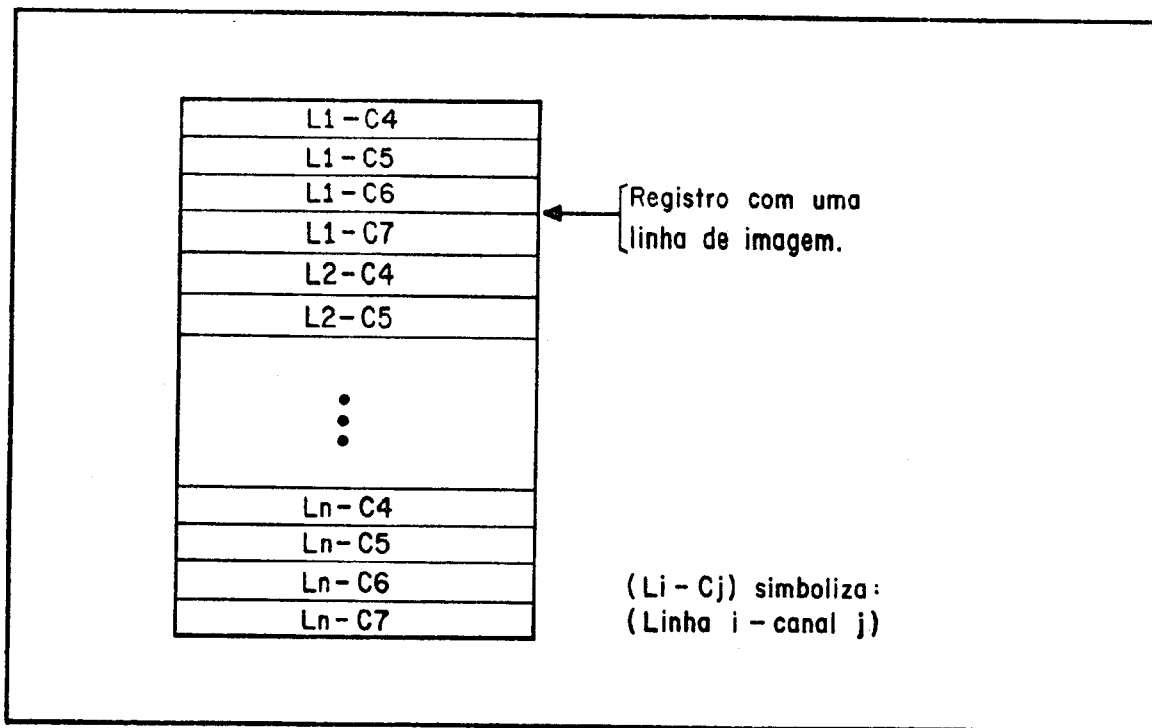


Fig. 3 - Formato BIL.

5. COMPACTAÇÃO DE DADOS

Serão feitas, a seguir, algumas considerações acerca dos métodos de compressão de imagens. Vale lembrar que um desses métodos (o de Huffman) já se encontra disponível como opção para o usuário (ver seção 6).

Pode-se dividir os métodos de compressão em duas categorias: métodos dependentes e independentes do conteúdo. Aqui serão vistos apenas métodos dependentes do conteúdo.

5.1 - MÉTODO DE BRUCE HAHN

Este método de compressão de dados foi desenvolvido originalmente por Hahn (1974) e alterado por Silva (1980). O método, como foi implementado, consiste no seguinte: 1) uma sequência de "pixels" iguais ao longo da linha de imagem é codificada como número de ponto fixo negativo, onde metade da palavra contém o valor de "pixel", e a outra, o número de vezes que ele se repete; 2) os valores não-repetidos são codificados em grupo de tamanho fixo, como número de ponto fixo único.

A técnica de compressão utilizada consiste em construir um Dicionário de Símbolos (DS), utilizando-se o histograma da imagem a ser compactada. Os códigos são atribuídos aos "pixels" segundo a sua frequência relativa de aparecimento. A imagem é comprimida por linhas, sendo que os "pixels" são codificados por sua posição no DS.

Na compressão dos dados de entrada, os "pixels" não-repetidos são codificados em grupos de comprimento N. Cada valor é pesquisado no DS, e sua posição é anotada. Se uma sequência de "pixels" iguais é inferior a N, eles são tratados como se fossem desiguais.

Seja B o comprimento do dicionário primário, e  $P_i$  a posição do i-ésimo símbolo de um dado grupo, ( $1 \leq i \leq N$ ) no DS e ( $1 \leq P \leq B-1$ ); a B-ésima posição é reservada para um caractere de fuga que permite a extensão do dicionário. O grupo de posições  $P_1, P_2, \dots, P_N$  é codificado como um número de ponto fixo, dado por:  $P_1 B^{N-1} + P_2 B^{N-2} + \dots + P_{N-1} B^1 + P_N B^0$ .

Se a B-ésima posição não for reservada, o valor  $B \times B^i$  pode aparecer, causando ambiguidade na codificação. Os caracteres de fuga surgem quando os símbolos ("pixels") estão posicionados nos intervalos  $iB+1$  a  $(i+1)B-1$  do DS, com  $i = 1, 2, \dots$ , dependendo do número de símbolos. Mais de um caractere de fuga pode ser usado para a extensão do comprimento do dicionário.

Seja P a posição de um dado símbolo no DS; o símbolo é codificado por  $\lfloor L/P \rfloor$  caracteres de fuga, seguido de mod (P,B), onde  $\lfloor Y \rfloor$  significa a parte inteira de Y, e mod (P,B), o resto da divisão de P por B. O caractere de fuga é codificado com zero. Para maiores detalhes, consultar os trabalhos de Hahn (1974), Silva (1980) e Silva (1981).

## 5.2 - MÉTODO DE HUFFMAN

Este método de compressão, amplamente conhecido, foi proposto originalmente por Huffman (1952) e é conhecido como código de Huffman. Baseia-se no fato de que os diferentes caracteres ocorrem com frequência acentuadamente diferente em um dado conjunto de informações. Huffman sugeriu a utilização de códigos binários de comprimento variável, sendo que a símbolos com maior frequência num dado texto seriam atribuídos códigos de comprimento menor e, inversamente, para frequências maiores seriam usados códigos de comprimento maior.

Um "código compacto" é um código com comprimento médio de palavra, menor ou igual ao comprimento médio para qualquer outro código unicamente decodificável, isto para um mesmo conjunto de informações (ou para uma mesma imagem), o que equivale a dizer que é um código de comprimento mínimo.

Dado um conjunto de probabilidades, associadas às frequências dos símbolos a serem codificados, pode-se gerar um código compacto usando-se o algoritmo de Huffman. Maiores informações podem ser encontradas em Abramson (1963), Huffman (1952), Gonzalez (1977) e Silva (1981).

## 5.3 - MÉTODO DA DISTÂNCIA ENTRE "PIXELS"

Pode-se observar que, até o momento, não foram exploradas as características inerentes aos dados de imagem, como o fato de haver grande correlação entre os elementos ("pixels") vizinhos. Uma idéia seria utilizar um código do tipo Huffman ou Hahn para codificar, não os valores dos "pixels", mas a diferença entre os "pixels" consecutivos.

Sejam os  $X_1, X_2, \dots, X_n$  os "pixels" para uma dada linha de imagem, cujos valores pertencem ao conjunto  $\{0, 1, 2, \dots, 255\}$ . A idéia consiste em mapear a sequência acima em uma nova sequência definida como:  $X_1, X_2 - X_1, \dots, X_n - X_{n-1}$ , cujos valores pertencem ao conjunto  $\{-255, -254, \dots, -1, 0, 1, \dots, 255\}$ .

Embora o dicionário de símbolos para codificar as distâncias seja maior do que o usado para codificar os "pixels", o que a princípio poderia ser um fator que comprometeria o método, existe uma peculiaridade importante no caso, que é o fato de os histogramas das diferenças serem sempre centrados no valor 0 (zero) e haver pouca dispersão dos dados em torno deste valor (em média 90% dos dados encontram-se na faixa  $-20$  a  $+20$ ). Ao contrário,

os histogramas normais de imagem são mais espalhados, além de terem distribuições diferentes entre canais numa dada imagem e entre imagens diferentes.

## 5.4 - OUTROS MÉTODOS

Outros métodos de compressão foram estudados, podendo-se citar dois deles:

- a) Compressão que utiliza código de comprimento de corrida ("run length encoding"). A idéia do método consiste em codificar, em lugar da sequência de "pixels", o valor de cada "pixel", seguido do número de vezes que ele se repete ao longo da linha, utilizando-se para tanto 2 "bytes", para armazenar cada sequência de elementos de imagem repetidos. Este método mostrou-se inviável devido a baixa razão de compressão.
- b) Codificação de contornos. A filosofia do método consiste em reduzir a imagem a uma lista de contornos fechados que devem envolver as regiões de mesmo nível de cinza. Cada contorno é univocamente determinado ao se especificar: 1) seu nível de cinza; 2) a localização (linha e coluna) de um "pixel" em sua fronteira (ponto inicial); 3) uma sequência de direções que dá o caminho definido pelo contorno. Este método é aplicável quando a imagem pode ser dividida em regiões com o mesmo nível de cinza, e a sua eficiência depende do número de contornos existentes. Por exemplo, ele pode ser usado para imagens já classificadas.

Maiores detalhes sobre estes métodos podem ser encontrados em Gonzalez (1977).

## 5.5 - COMPARAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS

Na Tabela 1, têm-se os resultados obtidos dos métodos Huffman e Hahn nas duas situações citadas (codificação de valores de "pixels" e diferenças entre "pixels" vizinhos). Por motivos de facilidade de operação, optou-se por uma imagem que contém  $512 \times 512$  elementos, podendo-se considerar que esses resultados são bastante próximos aos que seriam obtidos caso se considerasse a imagem completa com exceção do tempo de processamento, é claro). Para o teste, foi usada uma imagem da região do vale do rio Paraíba, no Estado de São Paulo.

TABELA 1

RESULTADOS DOS MÉTODOS DE HUFFMAN E HAHN

Método de compressão	Bits pixel	Razão de compressão	Tempo de processamento		Número de bits por palavra (bits)
			compressão (seg.)	descompressão (seg.)	
Huffman	5,5	1,45	78,5	69,0	39
	4,5	1,78	67,2	52,4	48
Huffman c/ diferenças	4,9	1,63	74,5	60,7	39
	4,0	2,00	64,7	53,8	48
Hahn	5,9	1,36	23,2	28,5	39
	4,8	1,67	24,6	38,4	48
Hahn c/ diferença	5,7	1,40	27,6	32,6	39
	4,7	1,70	26,7	47,3	48

6. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema compõe-se basicamente de dois conjuntos de programas implementados para processamento em "batch", havendo uma comunicação momentânea com o usuário por terminal, para aquisição de informações referentes ao processamento. No caso, a interface com o usuário é feita através do terminal Scopus-Sagitta-100. Um esquema simplificado do sistema pode ser observado na Figura 4.

O módulo que tem por função principal a reformatação de fitas CCTs está representado na Figura 4.a. Durante a execução da tarefa, faz-se a ligação com o usuário pelo terminal e, através de um conjunto de perguntas, definem-se os parâmetros que irão delinear o tratamento a ser dado às fitas CCTs de entrada. No caso, existem opções para: 1) reformatação da imagem toda, cuja saída é uma fita em formato BIL; 2) criação de arquivos em disco (permite criar arquivos separados para cada canal, ou um arquivo único em formato BIL). Ainda existe a possibilidade de processamento parcial, o que permite ao usuário selecionar uma janela de imagem (cujo tamanho é definido pelo usuário) e o número de canais desejados; pode-se ainda decidir se os seus dados devem ser compactados ou não. Esta última opção ainda não está implementada definitivamente, pois está sujeita a testes. Até o momento, as maiores dificuldades estão relacionadas com o custo computacional envolvido na compactação e descompactação dos dados de imagem, que são altos. Somente o método de Huffman encontra-se disponível no momento.

Obtidos os dados do usuário, cria-se um arquivo parcial em disco para armazená-lo. A seguir, inicia-se uma nova tarefa que, tendo como entrada o arquivo citado, executa as opções escolhidas pelo usuário.

Na Figura 4.b encontra-se o segundo módulo do sistema, cuja filosofia é análoga à do primeiro. Este módulo destina-se a executar operações de criação de arquivo a partir de fitas reformatadas. Neste caso a tarefa é dividida em três fases: 1) leitura do cabeçalho da fita e informação ao usuário sobre seu conteúdo (via terminal); 2) aquisição de informações do usuário, que definem o volume de dados de imagem a ser carregado, posicionamento da janela (se for o caso), número de canais desejados e modo de carregamento (arquivos separados para cada canal, ou arquivo único em formato BIL); 3) criação da tarefa que irá executar os itens definidos na fase 2.

Basicamente, são estas as ferramentas que se tornam disponíveis com este sistema. As facilidades do B6800, utilizadas na construção do sistema, foram as linguagens ALGOL e WFL ("Work Flow Language"); a segunda é utilizada no controle das tarefas a serem executadas (Burroughs, 1977 a e b).

7. CONCLUSÃO

Acredita-se que a contribuição mais importante deste trabalho é viabilizar a utilização do computador Burroughs B6800 para processamento de imagens; além disto, este ainda, poder ser um eventual produtor de imagens LANDSAT-MSS em fita magnética, com o formato BIL.

O pequeno sistema, apresentado acima, ainda estará sujeito a modificações na sua concepção, tendo em vista futuras necessidades que surgirem.

Em particular, quanto à formalização do novo formato de uma maneira detalhada e definitiva, a questão ainda está em aberto e, do mesmo modo, ainda resta otimizar a parte relativa à compactação de dados.

No entanto, as vantagens do sistema já são aparentes: uma redução considerável no custo dos meios de armazenagem (fitas, disco) e a possibilidade de se explorar a maior capacidade de processamento do B6800, aliviando a carga do minicomputador PDP 11/45. Esta possibilidade irá viabilizar uma série de técnicas de, por exemplo, registro e classificação de imagens, com "throughput", necessária para projetos como o de Previsão de Safras.

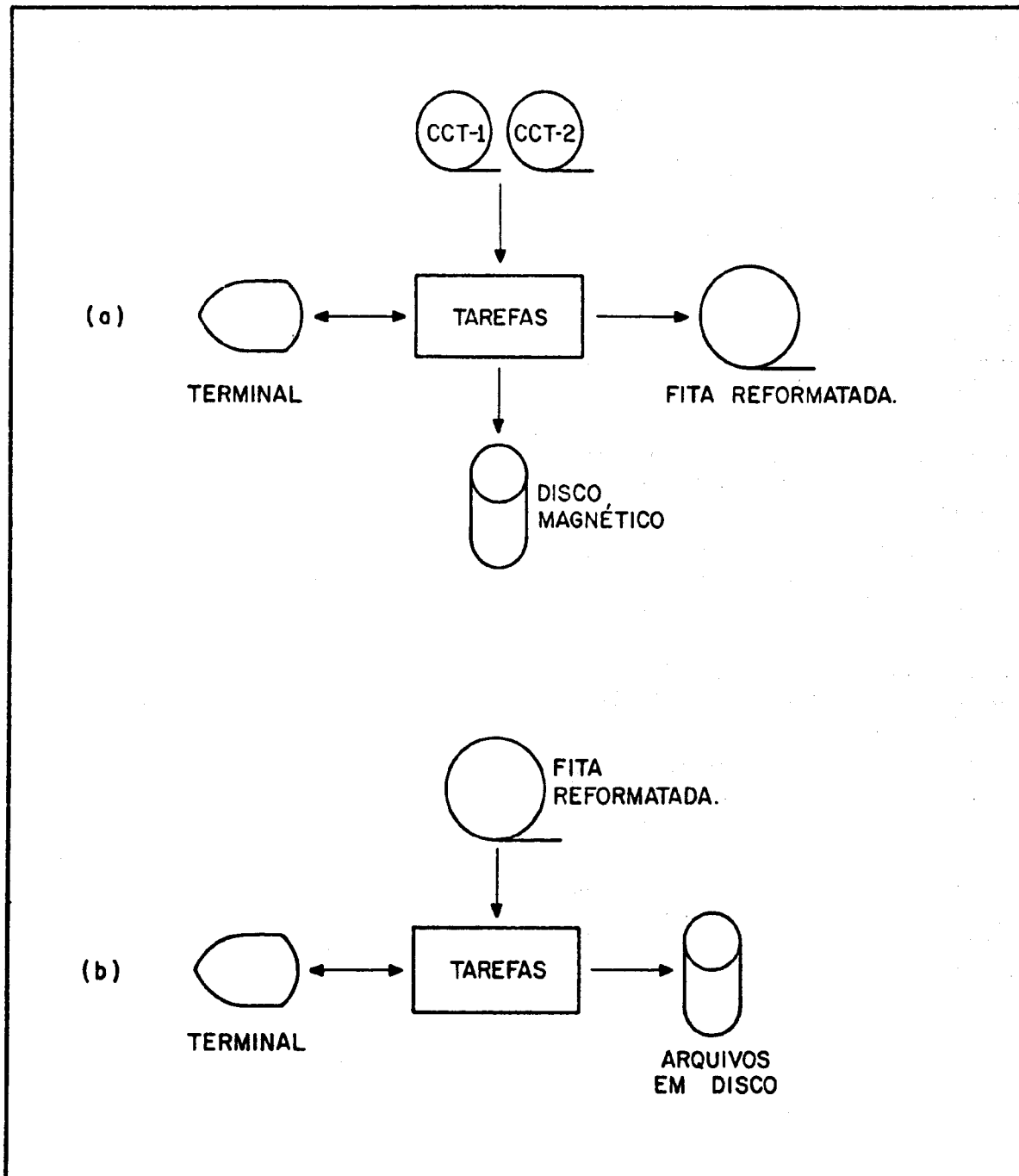


Fig. 4 - Esquema simplificado do sistema.

(a) Reformatação de CCTs.

(b) Carregamento de CCT reformatada.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NASA. GSFC *Data users handbook*. Greenbelt, 1970.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. Departamento de Sensoriamento Remoto. *Curso de treinamento: aplicação de sensoriamento remoto, com ênfase em imagens LANDSAT, no levantamento de recursos naturais*. São José dos Campos, INPE, nov, 1980. (INPE-1949-MD/006).
- PALESTINO, C.V.B. *Formatação de fitas CCT e exemplos de montagem de arquivos em disco para sua utilização*. São José dos Campos, INPE, mar. 1976. (INPE-845-nte/054).
- BURROUGHS. *B7000/B6000 séries algol; reference manual*. Detroit, 1977a.
- BURROUGHS. *B7000/B6000 séries work flow language; reference manual*. Detroit 1977b.
- ABRAMSON, N. Coding information sources. In: ——— *Information theory and coding*. New York, McGraw-Hill, 1963, cap. 4, p. 65-87.
- HANS, B. A new technique for compression and storage of data. *Communications of the ACM*, 17(8):434-436, Aug. 1974.
- HUFFMAN, D.A. A method for the construction of minimum redundancy codes. *Proceeding of the I.R.E.*, 40(10):1098-1101, Sept. 1952.
- GONZALEZ, R.C. Image encoding. In: *Digital image processing*. Massachusetts, Addison Wesley, 1977, cap. 6, p. 229-318.
- SILVA, O.O. Algoritmos de compressão de dados. In: SIMPÓSIO SOBRE BANCO DE DADOS, 1., São Paulo, 1980. *Anais*. São Paulo. Sucesu, 1980.
- SILVA, O.O. Métodos de compressão de imagens sem perda de informação. *Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional*. Rio de Janeiro, jan. 1981.