



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-2941-TDL/150

**SISTEMA DE AMOSTRAGEM PARA ESTIMAR A ÁREA DA
CULTURA DO TRIGO (Triticum aestivum L)
ATRAVÉS DE DADOS DO LANDSAT**

Maurício Alves Moreira

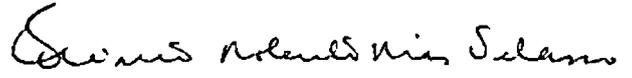
Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações,
aprovada em 21 de julho de 1983.

INPE
São José dos Campos
1983

PÁGINA ORIGINALMENTE EM BRANCO

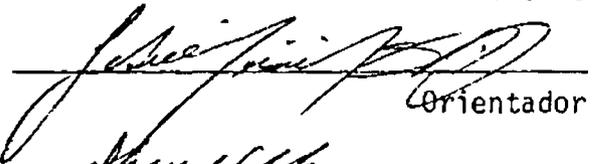
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Dr. Flávio Roberto Dias Velasco



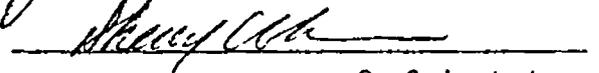
Presidente

Dr. Getúlio Teixeira Batista



Orientador

Eng^a Agro. Sherry Chou Chen, MSc.



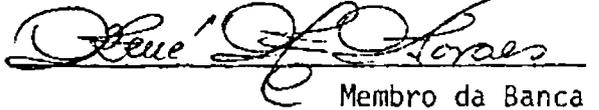
Co-Orientadora

Dr. Natálio Felipe Koffler



Membro da Banca
-convitado-

Eco. Renê Antonio Novaes, MSc.



Membro da Banca

Candidato: Maurício Alves Moreira

São José dos Campos, 21 de julho de 1983

Aos meus pais e irmãos,
pelo apoio dados para minha formação,

dedico

À minha esposa Tânia
pelo apoio e compreensão,
e à minha querida filha Patrícia

ofereço.

AGRADECIMENTOS

Ao Diretor do Instituto de Pesquisas Espaciais, Dr. Nelson de Jesus Parada, por ter permitido a realização desse trabalho.

Ao Dr. Getúlio Teixeira Batista e a Engenheira Agrônoma Sherry Chou Chen, MSc. pela orientação e colaboração.

Ao Coordenador do Departamento de Aplicações de Dados de Satélite - DDS, Renê Antonio Novaes, por ter incentivado a realização desse trabalho.

Ao pesquisador Bernardo Freidrich Theodor Rudorff pela colaboração dada na parte de computação.

Aos companheiros de trabalho Ângela, Getúlio, Valdete, Yosio, Francisco, Tardin, Madalena e Martini pela pronta colaboração e valiosas sugestões.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para que esse trabalho fosse realizado.

ABSTRACT

Using digitally processed MSS/LANDSAT data as auxiliary variable, a methodology to estimate wheat (*Triticum aestivum* L) area by means of sampling techniques was developed. To perform this research, aerial photographs covering 720 km² in Cruz Alta test site at the NW of Rio Grande do Sul State, were visually analysed. LANDSAT digital data obtained on Sept 2, 1979 were analysed using non-supervised and supervised classification algorithms; as post-processing the classification was submitted to the spacial filtering. To estimate wheat area, the regression estimation method was applied and different sample sizes and various sampling units (10, 20, 30, 40 and 60 km²) were tested. Based on the four decision criteria established for this research, it was concluded that: (a) as the size of sampling units decreased the percentage of sampled area required to obtain similar estimation performance also decreased; (b) the lowest percentage of the area sampled for wheat estimation with relatively high precision and accuracy through regression estimation was 13,90% using 10 km² as the sampling unit with this approximately 86%, time and cost were saved during interpretation of airphotographs; and (c) wheat area estimation by direct expansion (using only aerial photographs) was less precise and accurate when compared to those obtained by means of regression estimation.

SUMÁRIO

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| LISTA DE FIGURAS | xi |
| LISTA DE TABELAS | xiii |
| <u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u> | 1 |
| <u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u> | 5 |
| 2.1 - Análise de dados do LANDSAT aplicado à agricultura | 5 |
| 2.2 - Uso de sistema de amostragem em Sensoriamento Remoto para es timar áreas agrícolas | 11 |
| 2.3 - A cultura do trigo (<i>Triticum aestivum</i> L) | 13 |
| <u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS</u> | 17 |
| 3.1 - Área de estudo | 17 |
| 3.1.1 - Clima | 19 |
| 3.1.2 - Precipitação | 19 |
| 3.1.3 - Solos | 19 |
| 3.1.4 - Vegetação | 20 |
| 3.2 - Levantamento aéreo | 21 |
| 3.3 - Aquisição de dados LANDSAT | 21 |
| 3.4 - Sistema utilizado no tratamento digital dos dados do LANDSAT | 22 |
| 3.5 - Metodologia | 23 |
| 3.5.1 - Interpretação visual das fotografias aéreas | 23 |
| 3.5.2 - Análise digital dos dados do LANDSAT | 24 |
| 3.5.3 - Estimativa da área ocupada com trigo, pelo uso de amostra gem, utilizando dados do MSS do LANDSAT | 32 |
| 3.5.4 - Seleção do tamanho do segmento e determinação do número de unidades por amostra | 37 |
| <u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u> | 45 |
| 4.1 - Resultado alcançados com dados de aeronave e do LANDSAT | 45 |
| 4.2 - Estimativa da área ocupada com trigo pelo sistema de amos tragem | 53 |

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 4.2.1 - Análise da correlação | 53 |
| 4.2.2 - Análise de regressão | 54 |
| 4.2.3 - Seleção do tamanho do segmento e determinação do número de unidades por amostra | 61 |
| <u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u> | 79 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 81 |
| APÊNDICE A - DADOS UTILIZADOS PARA O CÁLCULO DAS ÁREAS TRITÍCOLAS (FOTO AÉREAS E LANDSAT) PARA OS SEGMENTOS DE 10, 20, 30, 40 e 60 km ² . | |
| APÊNDICE B - PROGRAMA (EM LINGUAGEM FORTRAN) UTILIZADO PARA ESTI MAR A ÁREA DE TRIGO ATRAVÉS DO MÉTODO DE REGRESSÃO. | |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| 3.1 - Área de concentração da cultura do trigo no Estado do Rio Grande do Sul | 18 |
| 3.2 - Esquema do processo de obtenção das áreas tritícolas. | 40 |
| 4.1 - Regressão entre as estimativas das áreas de trigo, obtidas com dados do LANDSAT e dados de aeronave, para o tamanho de segmento de 10 km ² | 56 |
| 4.2 - Regressão entre as estimativas das áreas de trigo, obtidas com dados do LANDSAT e dados de aeronave, para o tamanho de segmento de 20 km ² | 57 |
| 4.3 - Regressão entre as estimativas das áreas de trigo, obtidas com dados do LANDSAT e dados de aeronave, para o tamanho de segmento de 30 km ² | 58 |
| 4.4 - Regressão entre as estimativas das áreas de trigo, obtidas com dados do LANDSAT e dados de aeronave, para o tamanho de segmento de 40 km ² | 59 |
| 4.5 - Regressão entre as estimativas das áreas de trigo, obtidas com dados do LANDSAT e dados de aeronave, para o tamanho de segmento de 60 km ² | 60 |
| 4.6 - Estimativa da área tritícola, obtida através da estimativa pela regressão, usando segmentos de 10 km ² e variando o tamanho da amostra | 62 |
| 4.7 - Estimativa da área tritícola, obtida através da estimativa pela regressão, usando segmentos de 20 km ² e variando o tamanho da amostra | 63 |
| 4.8 - Estimativa da área tritícola, obtida através da estimativa pela regressão, usando segmentos de 30 km ² e variando o tamanho da amostra | 64 |
| 4.9 - Estimativa da área tritícola, obtida através da estimativa pela regressão, usando segmentos de 40 km ² e variando o tamanho da amostra | 65 |
| 4.10 - Estimativa da área tritícola, obtida através da estimativa pela regressão, usando segmentos de 60 km ² e variando o tamanho da amostra | 66 |
| 4.11 - Gráfico que mostra o acréscimo da eficiência relativa com o aumento do coeficiente de determinação | 77 |

LISTA DE TABELAS

| | <u>Pág.</u> |
|---|-------------|
| 3.1 - Desempenho da classificação ponto a ponto para vários classificadores e procedimentos de treinamento | 29 |
| 3.2 - Dados de classificação correta e erro de inclusão para as áreas testes | 32 |
| 3.3 - Número de unidades amostrais da população para os diferentes tamanhos de segmentos testados | 34 |
| 4.1 - Temas interpretados a partir de fotografias aéreas, divididos em classes e subclasses | 45 |
| 4.2 - Áreas ocupadas com a cultura do trigo, obtidas através de dados do LANDSAT e de fotos aéreas, para os segmentos de 10 km ² | 48 |
| 4.3 - Áreas ocupadas com a cultura do trigo, obtidas através de dados do LANDSAT e de fotos aéreas, para os segmentos de 20 km ² | 49 |
| 4.4 - Áreas ocupadas com a cultura do trigo, obtidas através de dados do LANDSAT e de fotos aéreas, para os segmentos de 30 km ² | 50 |
| 4.5 - Áreas ocupadas com a cultura do trigo, obtidas através de dados do LANDSAT e de fotos aéreas, para os segmentos de 40 km ² | 51 |
| 4.6 - Áreas ocupadas com a cultura do trigo, obtidas através de dados do LANDSAT e de fotos aéreas, para os segmentos de 60 km ² | 51 |
| 4.7 - Matriz de classificação | 52 |
| 4.8 - Coeficiente de correlação entre áreas de trigo estimadas usando dados do LANDSAT e fotografias aéreas | 54 |
| 4.9 - Resultados obtidos através da estimativa pela regressão para o segmento de 10 km ² , usando amostras com 10 unidades | 67 |
| 4.10 - Resultados obtidos através da estimativa pela regressão para o segmento de 20 km ² , usando amostras com 8 unidades. | 68 |
| 4.11 - Resultados obtidos através da estimativa pela regressão para o segmento de 30 km ² , usando amostras com 8 unidades. | 69 |
| 4.12 - Resultados obtidos através da estimativa pela regressão para o segmento de 40 km ² , usando amostras com 6 unidades. | 70 |
| 4.13 - Resultados obtidos através da estimativa pela regressão para o segmento de 60 km ² , usando amostras com 5 unidades. | 71 |
| 4.14 - Resultados obtidos através da estimativa pela regressão para o segmento de 60 km ² , usando amostras com 6 unidades. | 73 |

| | <u>Pág.</u> |
|--|-------------|
| 4.15 - Sumário dos resultados alcançados para os 5 planos amostrais testados | 74 |
| 4.16 - Resultados comparativos das estimativas das áreas de trigo obtidas pelo método de estimativa pela regressão e expansão direta | 76 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A necessidade de suprir a população de um país onde há restrições de área, clima e tecnologia limitando a auto-suficiência da produção agrícola, geram o chamado mercado competitivo entre as nações do mundo. Consequentemente, criam no panorama mundial dois grupos concorrentes os países exportadores e os países importadores.

Dentre os produtos básicos à alimentação, o trigo tem despertado grande interesse, tanto entre os países exportadores como entre os países importadores. No caso dos países exportadores como: Estados Unidos, Austrália, Canadá, Argentina, França, entre outros, o interesse está relacionado com a colocação desse cereal no mercado internacional através de preços competitivos; enquanto os países importadores, tais como: Rússia, China, Japão, Egito, Brasil, entre outros preocupam-se com a elevação dos preços do trigo no mercado mundial, procurando obter este cereal de modo mais econômico para garantir o suprimento deste produto à população a preços mais acessíveis.

Um exemplo do interesse pela estimativa da produção do trigo, por parte dos países exportadores, foi demonstrado pelos Estados Unidos que empenharam grandes esforços para estimar este cereal através de dados coletados por satélite, ao iniciar em 1974 o projeto Large Area Crop Inventory Experiment (LACIE), cujo objetivo foi investigar a potencialidade do uso de sensoriamento remoto para um monitoramento global da produção agrícola.

O cultivo do trigo no Brasil iniciou-se com os primeiros imigrantes europeus que se estabeleceram no Sul do País. Atualmente, este cereal é cultivado em todos os Estados da região Sul, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás. Segundo Moura et alii (1979), a triticultura nacional vem experimentando sucessivas flutuações nestes últimos anos em consequência de adversidades climáticas como: geada em 1975, granizo, temperatura e umidade elevadas em 1976 e estiagem em 1977.

Muito embora seja meta do governo brasileiro tornar o País auto-suficiente quanto à produção do trigo, a demanda por este cereal, no mercado interno, sempre foi maior do que a oferta, necessitando desta forma, substanciais taxas de importação. Atualmente, o trigo ocupa o segundo lugar na pauta de importação do País, superado somente pelo petróleo.

Diante desta situação, pode-se concluir que a pressão que este cereal vem exercendo sobre o déficit do tesouro e da balança comercial é bastante grande. Isto requer um prévio conhecimento da nossa produção, para uma tomada de decisão em tempo hábil, garantindo assim o suprimento da população a preços mais acessíveis.

As informações que se tem sobre a área ocupada com a cultura do trigo vêm sendo obtidas por métodos convencionais e, muitas vezes, são subjetivas e insatisfatórias.

Para fazer uma previsão de safras com confiabilidade preestabelecida e em tempo hábil, dois aspectos devem ser considerados: primeiro, fazer dentro da estação de crescimento uma avaliação periódica, tanto da área como da condição da cultura; segundo, uma previsão da variação mais provável das condições de crescimento futuro e dos possíveis efeitos sobre a produção. É extremamente difícil obter essas estimativas por métodos convencionais (MacDonald e Hall, 1978). Com relação à avaliação periódica, tanto da área quanto das condições da cultura, os dados coletados pelo sistema LANDSAT têm se mostrado uma ferramenta muito útil devido às características multiespectrais e sintética do sensor e de repetitividade do satélite.

O grande número de dados fornecidos pelo LANDSAT, dada a característica de repetitividade, determinou a necessidade do desenvolvimento de técnicas computacionais para a interpretação desses dados visando o monitoramento mais eficiente das culturas. Vários pesquisadores como Bauer e Cipra (1973), Economy et alii (1974) e

Dietrich et alii (1975) afirmam que a análise dos dados do LANDSAT através de técnicas computacionais é eficiente, rápida e de grande potencialidade.

Dentro do contexto da análise digital supervisionada, um grande problema é a utilização das estatísticas de treinamento obtidas de pequenas áreas para identificar e avaliar grandes áreas agrícolas. Como a cultura do trigo ocupa grande extensão de nosso território, muitas variáveis como: época de plantio, tipos de solo, concentração da cultura, sistema de manejo, etc devem ser consideradas quando se propõe a utilização de estatísticas de treinamento adquiridas em pequenas áreas de trigo, para identificar e estimar outras. Neste caso, erros significantes poderiam ocorrer devido à não-representatividade das respostas espectrais da cultura do trigo, obtidas a partir dessas pequenas áreas. Por outro lado, a cobertura aerofotográfica de toda região tritícola, aliada a informações de campo com a finalidade de obter todos os padrões de respostas espectrais para o treinamento de um Sistema Interativo de Análise Multiespectral, e posterior avaliação dos resultados da classificação, mostrar-se-ia impraticável devido ao elevado custo e tempo requerido para a análise.

A amostragem tem demonstrado ser uma técnica básica de coletar dados estatísticos de agricultura para um rápido e compreensivo sistema de informações exatas, através da tomada de amostras representativas de somente uma pequena parte da área total.

Em 1979 foram iniciados, no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), os primeiros estudos sobre a cultura do trigo, com objetivo de verificar a potencialidade do uso de dados do LANDSAT para identificar e avaliar a área ocupada com esta cultura. De acordo com Mendonça et alii (1981), os dados coletados pelo LANDSAT mostraram-se potencialmente viáveis para a identificação e avaliação da área ocupada com esta cultura para as condições brasileiras. Dando continuidade a esta linha de pesquisa, o presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver uma metodologia baseada em sistema de amostragem utili

zando dados de fotografias aéreas e dados digitais do MSS do LANDSAT, para estimar a área ocupada com a cultura do trigo.

Para atender o objetivo proposto nesta pesquisa, vários aspectos foram analisados, tais como: seleção do classificador, seleção da melhor maneira de obtenção das estatísticas de treinamento para o computador, seleção de um método de pós-processamento, determinação do tamanho da unidade amostral e do tamanho ótimo da amostra e, comparação do desempenho obtido pelo sistema amostral com o método de expansão direta (somente dados de aeronave). Pela impossibilidade de obter tais informações sobre toda área tritícola brasileira, propõe-se desenvolver este trabalho numa área piloto de 720 km², a qual já dispunha de uma cobertura total de fotografias aéreas.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - ANÁLISE DE DADOS DO LANDSAT APLICADOS À AGRICULTURA

As primeiras fotografias multiespectrais coletadas de campos agrícolas foram adquiridas em 1964. Nesta época ficou também reconhecido o potencial dessas fotografias para identificar áreas agrícolas. Posteriormente, em 1967, foram implementados em computadores digitais métodos de reconhecimento de padrões, e uma das primeiras investigações usando imagens adquiridas por satélite para identificar culturas foi executada por Anuta e MacDonald, 1974 (Bauer et alii, 1977).

As técnicas de sensoriamento remoto baseadas no uso de imagens orbitais, testadas em regiões agrícolas, oferecem uma possível alternativa para substituir as fotografias convencionais, pois, além de permitir obter informações do uso da terra mais frequentemente, devido à característica da repetitividade do satélite, podem também obter, informações a cerca de áreas mais extensas (Hay, 1974).

Estudando quantitativamente a potencialidade dos dados MSS do LANDSAT e da análise digital para identificar e avaliar áreas agrícolas em três municípios ao norte do Illinois, Bauer et alii (1979) concluíram que os resultados obtidos com dados LANDSAT foram positivos, considerando o número limitado de bandas espectrais em que atua o sensor MSS do LANDSAT e a baixa resolução espacial, quando comparados com os obtidos com dados de um "Scanner" colocado a bordo de uma aeronave. Apesar da baixa resolução espacial e do número limitado de bandas espectrais, os dados adquiridos pelo LANDSAT não apresentam problemas com o ângulo de elevação do sol, o que tem sido constatado em dados adquiridos pelo "Scanner" aerotransportado. Continuando, os autores afirmam que outro fator que torna os resultados significativos é o tamanho da área levantada.

Para Hixson et alii (1981), a visão sinótica da terra fornecida por satélite de observação, junto com o processamento digital dos dados, é muito útil para identificar e estimar áreas agrícolas.

Métodos de análise de dados obtidos pelo LANDSAT podem ser divididos em: "interpretação visual de imagens" e "tratamento numérico ou digital dos dados gravados em fitas compatíveis com computador (CCTs)". No presente trabalho a análise dos dados do LANDSAT foi feita utilizando as técnicas de interpretação digital, através do I-100. Por essa razão, o enfoque nesta seção foi mais direcionado à análise digital.

Segundo Bauer (1976), na análise digital de dados de sensoriamento remoto, utilizam-se fundamentalmente as variações espectrais. Pode-se também utilizar, se devidamente implementadas, informações temporais e espaciais em complementação às informações provenientes das variações espectrais.

A obtenção de informações sobre as culturas, de acordo com Johnson e Coleman (1973), poderá ser feita combinando-se de forma integrada a capacidade do homem com a agilidade da máquina para obtenção de resultados rápidos.

Com relação ao processamento digital, Hoffer (1973) afirma que existem duas condições básicas para a definição de uma classe visando a análise de padrões dos dados de sensoriamento remoto: a classe deve ser espectralmente separável de todas as outras classes e de interesse do usuário.

Para Wigton e Bormann (1977), os erros na classificação são inevitáveis dada a complexidade da natureza. Eles afirmam que "é impossível identificar todos os tipos de alvos com base somente em suas reflectâncias características na parte do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, sem associação de critérios adicionais tais como: tamanho, textura, forma e padrão".

Com relação à confiabilidade dos dados do LANDSAT tratados digitalmente, Economy et alii (1974) comentam que o desempenho da classificação não depende somente da metodologia utilizada para o reconhecimento da resposta espectral, mas também da qualidade da informação da verdade terrestre utilizada pelo analista para comparação.

Wigton e Steen (1973) visando a identificação e avaliação de áreas ocupadas com culturas, a partir de dados do LANDSAT em áreas selecionadas do Missouri, Kansas, Idaho e Dakota do Sul, explicam o baixo desempenho da classificação obtida (58,8%) como consequência de grandes variações espectrais causadas pelo plantio das culturas em diferentes solos.

De acordo com Hlavka et alii (1980), um problema fundamental na identificação de áreas agrícolas com dados do LANDSAT é o número de variáveis que influenciam a reflectância de uma determinada cultura. Entre elas, tem-se o grau de maturidade da cultura que pode variar dentro de uma pequena área num dado tempo. Para os autores um determinado campo pode estar no estágio de maturidade que estava o seu campo vizinho há 18 dias atrás. Nalepka et alii (1977), citados por esses autores, afirmam que as diferenças observadas no estágio de desenvolvimento do trigo no Estado de Kansas ocorriam não só entre campos como também dentro de um mesmo campo tritícola.

Ray et alii (1976) em pesquisas com dados de sensoramento remoto, conduzidas em colaboração com o pessoal do Centro Avançado de Computação (EAC) da Universidade de Illinois e o "Statistical Reporting Service (SRS)" do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), usando estimativa pela regressão para estimar áreas de culturas, concluíram que se os dados do LANDSAT gravados em fitas CCTs forem obtidos num tempo muito próximo à obtenção dos dados terrestres, isto é, sem defasagem de tempo, a estimativa da área agrícola pode ser significativamente melhorada.

Utilizando os dados do LANDSAT-1, para analisar culturas agrícolas e florestais em Michigan através do tratamento digital, Safir et alii (1973) concluíram que o reconhecimento de classes agrícolas e florestais é bom desde que as copas ou folhagens das plantas apresentem um padrão uniforme, o que pode ser notado quando as plantas atingem a fase de maturação.

Conforme relata Hixson et alii (1980), vários esquemas de análises digitais têm sido desenvolvidos e implementados em computadores de várias Universidades, comércio e órgãos governamentais nos Estados Unidos e em outros países. Cabe aos analistas de dados de sensoriamento remoto determinar qual análise é mais apropriada ou qual o algoritmo que melhor desempenha uma dada classificação.

Além dos fatores como: diferentes variedades da cultura, tipo de solo, época de plantio, etc. que influenciam a resposta espectral das culturas e, conseqüentemente, afetam os resultados da classificação, para Hoffer (1977) outro fator que deve ser considerado é o treinamento do algoritmo no computador para reconhecer uma combinação particular de números representativos da reflectância, em cada comprimento de onda, de um alvo ou tipo de cobertura de interesse. O autor comenta ainda que uma classificação digital de dados multiespectrais depende da definição de um conjunto de estatísticas de treinamento, as quais são na verdade representativas das características espectrais das várias feições da superfície da terra presentes nos dados da cena.

Parsons e Fitzpatrick (1978) através de estudos para determinar a melhor época de identificação do trigo, em três áreas do distrito de Narrabri em New South Wales, Austrália, através de interpretação visual de imagens do LANDSAT-2, obtidas de maio a novembro, correspondendo desde as épocas do plantio à colheita do trigo, concluíram que as épocas mais adequadas foram: junho, período imediatamente após a emergência, quando todas as áreas plantadas aparecem como solo preparado devido à baixa densidade de cobertura do solo, e final de setembro, quando a cultura do trigo está formando a panícula, porém, não-atingindo ainda o estágio de maturação.

Para Hall et alii (1974), um grande problema durante a classificação digital de culturas, usando dados de satélite, é a escolha correta da área de treinamento para o computador, principalmente quando estas áreas estão localizadas próximas ou na interseção de dois temas agrícolas distintos mas de padrões espectrais bastante semelhantes. Nesta situação, recomendam os autores, "é conveniente não tomar estas áreas para treinamento".

Com relação à área de treinamento para a aquisição de estatísticas, Everitt et alii (1979) estudando a classificação digital para fins de inventários das terras ao sul do Texas, numa área de 81.000 ha localizada nos municípios de Kennedy e Willacy, utilizaram como treinamento do algoritmo no computador 0,5% da área total.

Utilizando dados do LANDSAT-1 sobre três áreas ao norte do Illinois, Bauer e Cipra (1973) citam que as estatísticas de treinamento, desenvolvidas para uma região, poderão ser usadas para classificar regiões adjacentes sem decréscimo do desempenho da classificação digital.

Bauer et alii (1979) obtiveram uma boa classificação utilizando estatísticas de treinamento, obtidas de áreas distanciadas até 80 km da área de estudo. Segundo esses autores, a distância sobre a qual as estatísticas de treinamento poderão ser estendidas com sucesso dependerá de uma série de fatores como época do plantio, relevo, tipos de solo, etc.; porém, um importante requerimento é a similaridade entre a cena a ser classificada e a cena onde foram obtidas as estatísticas de treinamento.

Para Hixson et alii (1980), o procedimento de treinamento é mais importante que a escolha do classificador para obter uma classificação satisfatória da cultura. Esses autores demonstraram em seus estudos que, fixando as áreas de treinamento, houve pequena diferença na exatidão da classificação obtida quando se utilizaram diferentes classificadores.

A definição dos parâmetros de cada classe pode ser obtida através de abordagem supervisionada ou não-supervisionada. Entretanto, Wharton e Turney (1981) afirmam que em muitos casos a combinação das duas abordagens parece ser muito indicada. Esta combinação, continuam os autores, é prática para áreas nas quais é difícil ou impossível definir-se áreas de treinamento para todas as feições, especificamente para aquelas que possuem áreas pequenas, irregulares ou esparsamente distribuídas.

As experiências do Laboratory for Application of Agricultural Remote Sensing (LARS), de acordo com Hoffer (1973), também têm comprovado que a combinação destes dois sistemas (supervisionado e não-supervisionado) mostram resultados mais satisfatórios.

Depois de obtidos os parâmetros de cada classe presente na área de interesse, seja pelo método supervisionado ou pelo não-supervisionado, o restante da área é classificada utilizando o algoritmo mais apropriado para a sua classificação. Entretanto, os estudos feitos na área de sensoriamento remoto para identificar e avaliar áreas agrícolas, utilizando a classificação digital, têm demonstrado que os resultados obtidos estão sempre sujeitos a erros de classificação causados pela semelhança de respostas espectrais de alvos distintos.

MacDonald e Hall (1978) comentam que a maior confusão entre as respostas espectrais das culturas e a resposta espectral do trigo ocorreu, principalmente, devido às culturas de cevada e centeio. Em regiões onde essa confusão é acentuada, os trabalhos do LACIE demonstram que a estimativa da área de trigo é diminuída devido ao acréscimo da área estimada com essas culturas.

Hatfield (1981) analisando o comportamento espectral de 82 variedades de trigo concluiu que houve pouca variação espectral entre as variedades até a fase de emborrachamento, mas que esta variação aumentou durante as fases de inchamento e maturação.

Depois de feita a classificação dos dados da área de interesse, obtidos pelo LANDSAT, é sempre recomendável que se faça a avaliação de seu desempenho. Para avaliá-lo, Hoffer (1973) comenta que as experiências do LARS têm demonstrado que uma combinação de três técnicas: a) comparação visual entre o "print-out" contendo os resultados da classificação e o mapa temático obtido a partir da fotointerpretação, b) amostragem de áreas individuais designadas como áreas testes, e c) análise da correlação entre os dados adquiridos pelo LANDSAT e os dados de verdade terrestre, fornecem a melhor indicação sobre a exatidão da classificação.

De acordo com Chen et alii (1981), na avaliação do desempenho da classificação devem ser considerados, conjuntamente, a percentagem de classificação correta e o erro de inclusão.

2.2 - USO DO SISTEMA DE AMOSTRAGEM EM SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTIMAR ÁREAS AGRÍCOLAS

No Brasil, um dos primeiros trabalhos utilizando fotografias aéreas como sistema de referência à amostragem para estimar áreas agrícolas foi realizado por Schattan (1968). Neste estudo dados de fotografias aéreas do Município de Tietê foram utilizados nos métodos de expansão direta e de razão, para estimar áreas cultivadas, pastagem, mata e outras classes de uso da terra daquele município.

Hay (1974) utilizando o método de regressão para estimar áreas agrícolas em áreas testes dos municípios de San Joaquim (Califórnia) e Maricopa (Arizona) comenta que imagens orbitais e fotografias aéreas utilizadas em conjunto podem aumentar a eficiência e a exatidão da classificação.

Para Wigton e Bormann (1977), o uso de amostragem é mais econômico para a estimativa de áreas de uma determinada cultura, principalmente em grandes áreas onde é difícil ou economicamente inviável um conhecimento completo da região. Para estes autores, a exa

tidão da estimativa irá depender de quanto as características das amostras são representativas das características da população.

Thomas e Hay (1977) em estudos cuja finalidade foi localizar amostras através de um sistema de dupla amostragem, baseado nos dados do LANDSAT e nos dados do Statistic Report Service (SRS), do Departamento Agrícola dos Estados Unidos (USDA), para serem utilizadas na estimativa da área do trigo pelo método da regressão, concluíram que, se a correlação entre as áreas estimadas utilizando dados do LANDSAT através da análise digital e as mesmas áreas obtidas por verdade terrestre for suficientemente grande, haverá redução na variância da estimativa da área.

De acordo com MacDonald e Hall (1978), a mais compreensiva investigação do uso de dados do MSS do LANDSAT, através de sistema de amostragem para levantamento de áreas agrícolas, principalmente, sobre a cultura do trigo, foi o Large Area Crop Inventory Experiment (LACIE). Os objetivos do LACIE, comentam Hixson et alii (1981), foram assimilar a tecnologia atual de sensoriamento remoto dentro de um sistema experimental e avaliar o seu potencial para determinar a produção dentro de uma confiabilidade conhecida (limite de confiança de 90%) e uma probabilidade de 10% de erro relativo para uma grande região geográfica. A escala global do LACIE incorporou cerca de 15000 conjuntos de dados adquiridos pelo LANDSAT-2, e mais de 2600 segmentos amostrais em 5 maiores regiões produtoras agrícolas do mundo.

Hanusckak et alii (1979), estimando áreas cultivadas de milho e soja em Iowa e trigo em Kansas, usaram como estimador das áreas destas culturas dois métodos estatísticos: expansão direta (somente dos terrestres) e métodos de regressão (dados do LANDSAT e terrestres). Segundo esses autores, o ganho na precisão da estimativa da área obtida pelo uso da regressão quando comparada à expansão direta foi substancialmente maior; além disto, este ganho também foi constatado nos estudos feitos por Graig et alii (1979) ao estimar a área de trigo no Estado de Kansas.

2.3 - A CULTURA DO TRIGO (*Triticum aestivum* L).

O trigo é uma planta herbácea, anual, monocotiledônea, da família Gramineae, e do gênero *Triticum*.

Consta que o Iraque foi o primeiro país no globo terrestre a conhecer o trigo há cerca de 6500 anos atrás. Porém, o primeiro país a cultivá-lo foi o Egito há 5000 anos. Na China o trigo é cultivado desde 3000 anos atrás.

O cultivo do trigo no Brasil, segundo Moura et alii (1979), iniciou-se com os primeiros imigrantes europeus que se estabeleceram no Sul do País. Segundo Almeida e Carnechio Filho (1973), a primeira notícia que se tem da introdução do trigo no Brasil data de 1556, quando se tentou o cultivo desta gramínea na capitania de São Vicente. O Rio Grande do Sul destacou-se como principal produtor, atingindo em 1831 expressiva área plantada.

1) Estados brasileiros onde o trigo é mais cultivado.

Rio Grande do Sul, como principal produtor, Paraná, São Paulo, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais.

2) Clima

A cultura do trigo, em escala mundial, tem a sua maior expressão em áreas de clima temperado, do tipo mediterrâneo, com invernos úmidos e verões secos como os da Europa, centro dos Estados Unidos, Argentina, etc.

De maneira geral, o trigo vegeta e frutifica bem nas regiões em que, durante o ciclo vegetativo, a temperatura média é inferior a 20°C e a precipitação pluviométrica é superior a 180 mm, com boa distribuição.

Com o melhoramento genético, conta-se atualmente com cultivares adaptadas aos climas tropicais, com verões quentes e úmidos e invernos amenos e secos. As cultivares selecionadas para as condições brasileiras são, em geral, pouco exigentes quanto ao frio, indiferentes ao fotoperíodo, de ciclo curto, de boa arquitetura foliar, de grande tolerância à umidade e de elevada resistência às enfermidades.

3) Solo

O trigo requer solos férteis, levemente ácidos (pH entre 5,5 e 6,5), com textura média e bem drenados.

Segundo Almeida e Cornechio Filho (1973), de maneira geral, o trigo não pode ser semeado em terreno nem muito argiloso e nem excessivamente silicoso. Devem ser solos profundos, para permitir a penetração de suas raízes que são longas e descem verticalmente, e com boa capacidade de retenção de umidade.

4) Variedades

O gênero *Triticum* compreende várias espécies, distintas uma das outras, estando representadas por um grande número de variedades, as quais se multiplicam por seleções e cruzamentos.

O trigo, cultivado comercialmente no Brasil, pertence à espécie *Triticum aestivum* e à subespécie *vulgare*. Essa subespécie é constituída por inúmeras cultivares que estão em uso pelos agricultores, outras em experimentação e um número maior de linhagens ou cultivares que foram superadas através do tempo e são encontradas apenas em bancos de germoplasma como fonte de variabilidade genética, para serem usadas em cruzamentos.

No caso do Brasil que possui uma ampla variação edafoclimática, há necessidade de uma maior diversificação das cultivares com características específicas para cada região.

Em geral, uma variedade de trigo para ser considerada boa precisa ter pelo menos três características: ser produtiva, oferecer produto de boa qualidade e ser resistente às principais moléstias. Além disto, a variedade deve apresentar bons caracteres agronômicos como adaptação ao meio, resistência ao degrane e ao acamamento.

5) Época de plantio.

A época de plantio está condicionada a três fatores principais; precipitação pluviométrica, temperatura e época de colheita.

O trigo necessita de 60 a 90 dias de adequada umidade no solo durante o período que vai da emergência ao início da maturação.

De um modo geral, as cultivares existentes no Brasil são resistentes a baixas temperaturas, sendo prejudicadas somente por geadas na época de floração. Por outro lado, altas temperaturas em associação com dias longos reduzem significativamente o ciclo da planta e diminuem o potencial de produção.

A colheita deve ser feita em período seco para a obtenção de grãos de boa qualidade.

Com base nestes fatores, deve-se fazer um estudo para cada região tritícola, a fim de determinar a melhor época do plantio.

6) Doença e Pragas.

Entre as principais doenças que causam sérios prejuízos econômicos na produção do trigo destacam-se: Ferrugem do colmo (*Puccinia graminis tritici*), Ferrugem das folhas (*Puccinia rubigovera tri*

tici), helmintosporiose do trigo (*Helminthosporium sativum*), Mildio ou Oídio do trigo (*Erysiphe graminis*).

Como principais pragas têm-se: lagarta militar (*Laphygma frugiperda*), lagarta do trigo (*Pseudaletia adultera*), lagarta elasmó (*Elasmopalpus lignosellus*) e pulgões do trigo da ordem Homoptera e família Aphididae.

7) Colheita.

A colheita do trigo é mecanizada. Depois de colhido o trigo, é feita a secagem dos grãos, em geral, com teor de umidade abaixo de 11%. Após a secagem, o trigo é armazenado para a sua comercialização.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - ÁREA DE ESTUDO

A cultura do trigo no Estado do Rio Grande do Sul encontra-se concentrada a noroeste do Estado e esparsamente distribuída ao sul. Para esse estudo utilizou-se uma área com aproximadamente 720 km², na região de Cruz Alta, localizada dentro da área de concentração de trigo, entre os paralelos 28^o30' e 28^o45' S e meridianos 53^o30' e 54^o00' W (Figura 3.1)

No município de Cruz Alta, de acordo com Brasil (1978), predominan as terras com uso mais apropriado para lavouras de ciclo curto ou longo, permitindo em quase sua totalidade dois cultivos por ano. Quanto à fertilidade apresentam sérios problemas, pois 70% de suas terras necessita, de altas aplicações de fertilizantes e corretivos de acidez do solo. Esta região é também caracterizada pela grande exigência de prática conservacionistas; porém, trata-se de grandes extensões de terras próprias à mecanização.

Basicamente três fatores contribuíram diretamente para a escolha da área de estudo no município de Cruz Alta: a) a grande concentração da cultura do trigo; b) a representatividade da cultura a nível estadual e; c) a existência de informações preliminares oferecidas por entidades governamentais e privadas que atuam na região.

O município de Cruz Alta possui uma área de 3.462 km² e a área de estudo corresponde a cerca de 23% deste município.

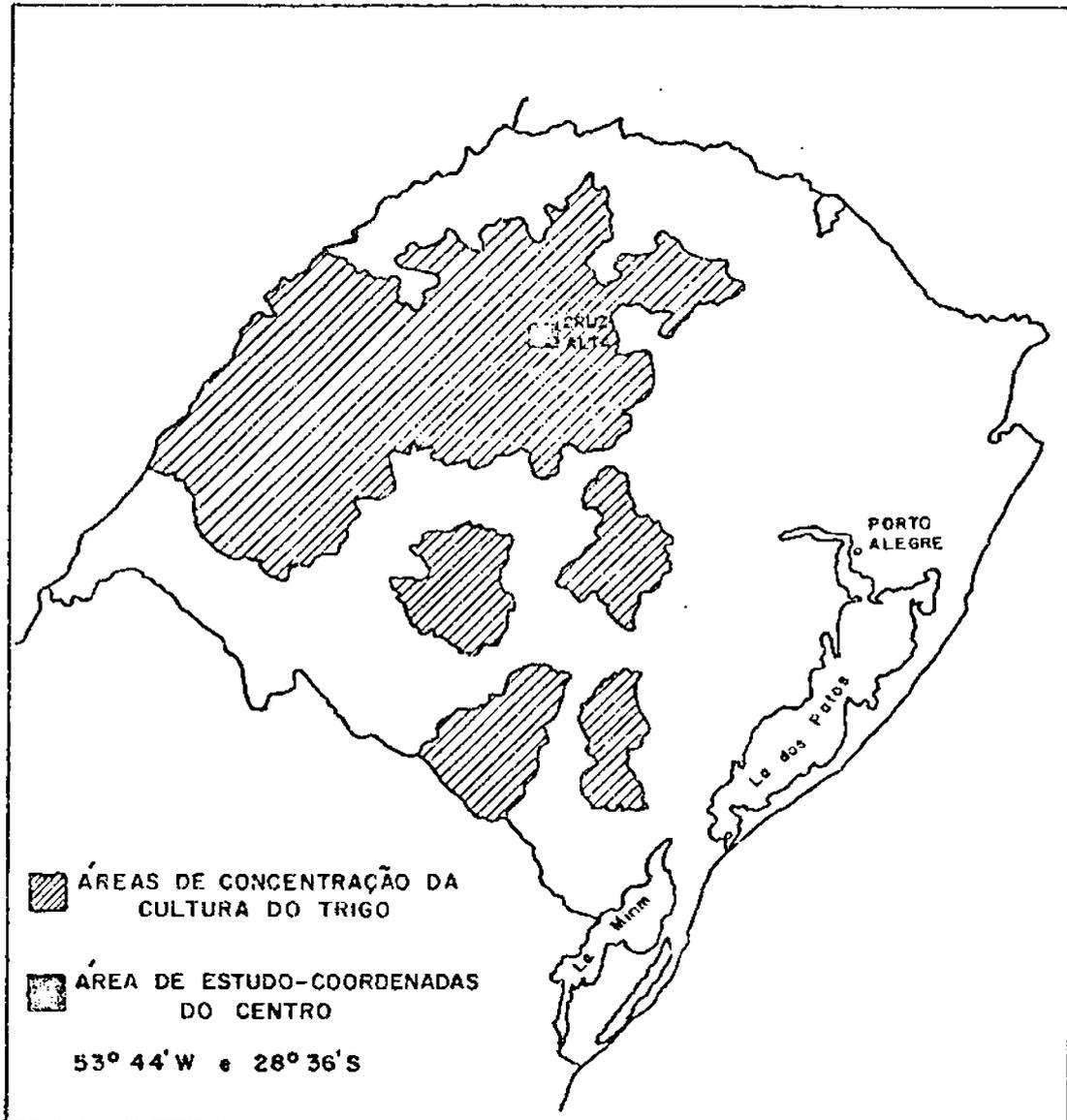


Fig. 3.1 - Área de concentração da cultura do trigo no Estado do Rio Grande do Sul.

FONTE: Brasil (1978).

3.1.1 - CLIMA

Mota, citado em Brasil (1973), classificou o clima do Estado do Rio Grande do Sul no sistema de Köppen e verificou a ocorrência de duas variedades climáticas específicas:

- a) "Cfa" clima subtropical (ou virginiano) úmido sem estiagem. A temperatura média do mês mais quente é superior a 22°C e a do mês mais frio varia de 3 a 18°C.
- b) "Cfb" clima temperado em que a temperatura média do mês mais quente é inferior a 22°C.

O município de Cruz Alta, segundo Mota, encontra-se sob o regime de clima temperado (Cfb) com uma temperatura média anual de 18°C.

3.1.2 - PRECIPITAÇÃO

No Rio Grande do Sul, a precipitação média anual varia usualmente de 1100 a 2400 mm e está relacionada às diferentes regiões fisiográficas. As chuvas são muito variáveis e esta variação é verificada não só de um ano para outro, mas também durante um mesmo ano. Na maioria dos anos, os meses mais chuvosos são; maio, junho e setembro e os menos chuvosos novembro, dezembro e fevereiro, (Brasil, 1973). O município de Cruz Alta situa-se numa região onde a precipitação pluviométrica está entre 1750 e 2.000 mm.

3.1.3 - SOLOS

Segundo o Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Rio Grande do Sul, no município de Cruz Alta ocorrem solos de três Unidades de mapeamento: Cruz Alta, Santo Ângelo e Tupanciretã (Brasil, 1978).

1) Unidade de Mapeamento Cruz Alta

É constituída por Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, textura média e substrato arenito. A área abrangida por esta unidade em todo o Estado perfaz um total aproximado de 7945 km², o que representa cerca de 3% da área territorial do Rio Grande do Sul. Seu relevo geral é ondulado, constituído por elevações arredondadas, que formam depressões fechadas.

2) Unidade de Mapeamento Santo Ângelo

É formada por Latossolo Roxo Distrófico, textura argilosa, situada em relevo ondulado a suavemente ondulado, formado por elevações com centenas de metros de comprimento, cuja declividade varia de 3 a 10%, podendo ocorrer relevo mais forte com, no máximo, 15%.

3) Unidade de Mapeamento Tupanciretã

É formada de Podzólico Vermelho Amarelo, textura média, ocupando área de aproximadamente 795 km², o que representa 0,3% da área do Estado. Esta unidade é encontrada nos municípios de Tupanciretã, Júlio de Castilho e Cruz Alta.

3.1.4 - VEGETAÇÃO

Sobre a área de estudo encontra-se como vegetação natural o campo, na maioria das vezes utilizado como pastagem, pequenas áreas com matas que aparecem de forma isolada e mata de galeria que acompanha os cursos d'água. Nas depressões a pastagem é um pouco melhor, composta por diversas gramíneas.

3.2 - LEVANTAMENTO AÉREO

Em 2 de setembro de 1979, realizou-se sobre a área de estudo um sobrevôo utilizando câmera métrica do tipo RC-10, com distância focal de 152 mm e filme Aerochrome 2443, cuja sensibilidade espectral vai de 400 a 900 nm. Utilizou-se ainda um filtro com a finalidade de bloquear toda a luz com comprimento de onda na faixa do azul, diminuindo assim o efeito atmosférico. O vôo foi realizado com recobrimento lateral e longitudinal de 30%, perfazendo 7 faixas de vôo num total de 104 fotos. Transparências positivas foram obtidas na escala de 1:20.000.

As fotografias aéreas foram plotadas em cartas topográficas do IBGE na escala de 1:50.000 para facilitar o trabalho de localização dos talhões de trigo no campo.

3.3 - AQUISIÇÃO DOS DADOS LANDSAT

A época ideal para a aquisição dos dados LANDSAT para a identificação de trigo é durante o estágio de maturação (Chen et alii, 1981), porque nesta época o trigo apresenta uma coloração amarelo-ouro diferenciando-se das outras culturas (predominantemente pastagem) que ainda permanecem verdes. Para aquela região, no ano de 1979, a época ideal seria final de setembro ou início de outubro. Entretanto, como os dados LANDSAT do dia 22 de setembro apresentaram 100% de cobertura de nuvens, tornou-se impossível a sua utilização. Para este estudo foram utilizados dados LANDSAT, gravados em fitas compatíveis com computadores (CCTs), referentes à órbita 220, ponto 32 da passagem do dia 4 de setembro de 1979. Nesta época, a maior parte do trigo encontrava-se em estágio de emborrachamento.

3.4 - SISTEMA UTILIZADO NO TRATAMENTO DIGITAL DOS DADOS DO LANDSAT

O Sistema Interativo de Análise de Imagem Multiespectral, IMAGE-100 ou simplesmente I-100, produzido pela General Electric, tem sido utilizado com a função principal de extrair informações temáticas das imagens multiespectrais.

O sistema permite um treinamento interativo pelo analista (classificação supervisionada) ou de maneira sistemática, sem participação direta do analista (classificação não-supervisionada), identificando-se sobre a área de estudo pontos com características semelhantes. Ao conjunto de pontos com características semelhantes atribui-se uma cor, um dígito ou um valor numérico, dependendo do local de saída dos resultados, que poderá ser através de um terminal gráfico alfanumérico, um visualizador colorido e uma impressora de linha.

Características e potencialidades do sistema I-100 (General Electric Company, 1975):

- a) permite a análise do comportamento espectral até oito temas diferentes simultaneamente;
- b) permite a análise das imagens em tempo real, possibilitando a interação direta analista/imagem que é fundamental para a obtenção de resultados de alto grau de confiabilidade;
- c) utiliza técnicas discriminatórias com parâmetros facilmente modificáveis pelo analista, em tempo real, para a eliminação da classificação indesejada;
- d) permite a aplicação de funções de pré e pós-processamento sobre a imagem, cuja finalidade é melhorar sua qualidade para a obtenção das informações necessárias à análise digital;

- e) permite vários tipos de saídas dos resultados da classificação como: visualizador colorido, terminal gráfico alfanumérico, impressora de linha e fitas magnéticas para posterior obtenção de resultados em imagem (ou mapas).

3.5 - METODOLOGIA

3.5.1 - INTERPRETAÇÃO VISUAL DAS FOTOGRAFIAS AEREAS

De posse das fotografias aéreas, em transparências positivas, procurou-se fazer um estudo preliminar, auxiliado pelos conhecimentos de campo, a fim de reconhecer as características tonais dos diferentes alvos de ocupação do solo. Posteriormente, estabeleceu-se uma chave de interpretação cuja finalidade foi ajudar o fotointerprete a organizar as informações presentes nas fotografias aéreas.

Durante a fotointerpretação procurou-se caracterizar os alvos de ocupação do solo, dividindo-os em subclasses de acordo com os padrões de tonalidades apresentados nas fotos aéreas. Esta divisão teve o objetivo de auxiliar o entendimento do comportamento espectral destes alvos quando observados nos dados do MSS do LANDSAT.

Além do critério básico da cor, utilizado para caracterizar os diferentes temas, usou-se também os atributos textura fotográfica e arranjo espacial para auxiliar as decisões sobre interpretação. Assim, todas as feições contidas nas fotos puderam ser identificadas corretamente.

Os resultados finais da fotointerpretação serviram para verificar a eficiência do método durante o desenvolvimento da pesquisa e como uma das variáveis utilizadas na estimativa da área tritícola.

3.5.2 - ANÁLISE DIGITAL DOS DADOS DO LANDSAT

Para a análise digital do trigo, foram utilizadas informações dos 4 canais do MSS do LANDSAT, adquiridas em uma única data e gravadas em fitas CCTs.

A fim de manter uma relação de 1:1 entre os elementos de resolução dos dados do LANDSAT e do visualizador do I-100, fez-se uma ampliação da cena correspondente à área de estudo para a escala de 1:100.000.

Como a área de estudo tem um formato retangular de aproximadamente 40 km x 20 km (40 x 20 cm na escala de 1:100.000) e devido ao visualizador do I-100 apresentar uma área quadrada de 30 x 30 cm, a área foi dividida em dois módulos (A e B), cada um com uma área aproximada de 20 x 20 km. Para localizar os vértices da área de estudo, tomou-se, com o auxílio do cursor, uma região que supostamente continha um dos vértices de cada módulo, a qual foi ampliada para a escala de 1:20.000, compatível com a escala do mapa temático obtido através da fotointerpretação. A comparação visual das informações, tanto no mapa temático quanto no visualizador do I-100, permitiu ao analista julgar e decidir sobre cada vértice e, com o programa traço, fez-se a delimitação definitiva de cada módulo.

Após a delimitação da área de estudo, fez-se a classificação digital utilizando o método Híbrido M-2, e como pós-processamento fez-se uma filtragem espacial utilizando o método de Uniformização de Temas-opção UNITOT com limiar 2 e peso 2, descritos a seguir.

Método Híbrido (M-2)

Este método utiliza, inicialmente, uma abordagem não-supervisionada (K-MÉDIAS) para a separação das feições da área de estudo em classes espectrais homogêneas. Posteriormente, áreas de treinamento com "pixels" puros ("pixels" localizados nos centros dos talhões sem influência de falhas de cultura) são adquiridas destas classes espectrais para a obtenção das estatísticas de treinamento utilizadas na abordagem supervisionada (MAXVER). Para cada abordagem será descrito o classificador envolvido.

1) K-MÉDIAS

O classificador K-MÉDIAS define classes espectrais a partir de um conjunto de celas em quatro dimensões. O analista fornece ao sistema o número de centros iniciais (vetor média inicial para cada classe), a precisão e o número de iterações que deseje. O sistema divide os dados da área de estudo associando cada vetor ao centro mais próximo, segundo a função discriminante distância euclidiana. Após esta associação, são calculados novos centros. Este ciclo repete-se até que:

- a) atinja o número de iterações desejado, ou
- b) a diferença entre o centro anterior e o atual não seja maior que a precisão escolhida.

Extraí-se então o vetor média e a matriz de covariância para cada grupo de dados que serão, posteriormente, utilizados na classificação.

Em virtude do tamanho relativamente grande da área e da utilização das informações dos quatro canais do MSS do LANDSAT, houve problema de restrição de memória computacional para armazenar informações de todos os "pixels" para o processo de agrupamento; desta forma, o algoritmo de agrupamento K-MÉDIAS foi utilizado para agrupar "pixels"

resultantes de uma amostragem sistemática. Tal amostragem foi feita usando uma grade cujas linhas e colunas foram traçadas a cada 10 "pixels" da imagem; todos os "pixels" da área de estudo que se situavam nos pontos de interseção das linhas e colunas foram utilizados na amostragem.

2) SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO GAUSSIANA (MAXVER)

O MAXVER é um sistema supervisionado que se destina à classificação ponto a ponto de imagens multiespectrais. O critério utilizado na classificação é o de máxima verossimilhança, segundo classes escolhidas interativamente pelo usuário. O uso do sistema MAXVER divide-se em duas fases distintas: a) fase de treinamento, na qual o usuário escolhe as classes e adquire, através do cursor, áreas de treinamento para obtenção das estatísticas de treinamento (vetor média e matriz de covariância) e; 2) fase de classificação propriamente dita, onde o restante da imagem é classificada da seguinte forma: para um dado ponto X qualquer, são calculados os valores de probabilidade deste ponto pertencer a cada uma das classes definidas na fase de treinamento. O ponto X é então associado à classe cuja probabilidade é maior.

O sistema MAXVER tem a capacidade de analisar até 32 classes com um número de 160 posições de tomada de área de treinamento. Descrições mais detalhadas deste sistema podem ser encontradas em Velasco et alii (1978).

Uniformização de Temas-opção UNITOT

O UNITOT é um dos métodos de pós-processamento que consiste em uma filtragem espacial, o qual analisa o "pixel" central de uma matriz de 3 x 3 "pixels". Para a análise, dois parâmetros devem ser considerados: limiar e peso. Estes são pré-determinados pelo analista.

A frequência de ocorrência de cada classe no interior da matriz é determinada. A classe do "pixel" central é contada tantas vezes quanto for o valor do peso. Posteriormente, o valor de frequência da classe de maior ocorrência no interior da matriz é comparada com o limiar. Se o valor do limiar for menor, a identidade do "pixel" central será substituída pela classe de maior ocorrência dentro da matriz. Se o valor do limiar for maior, a classe do "pixel" central permanecerá sem alteração. Desta forma o algoritmo compara todos os "pixels" contidos na área de estudo (Dutra, no prelo).

O uso dos dados digitalizados do MSS do LANDSAT como uma variável nos levantamentos agrícolas, de acordo com Sigman et alii (1977), produz erros de estimativa que podem ser divididos em duas categorias quanto às origens: a) erros procedentes do classificador devido às diferentes funções discriminantes (linear ou quadrática), ao conjunto de treinamento, à probabilidade a priori e ao número de categorias de classificação usada no delineamento da classificação; b) erros de medidas devido ao tamanho do elemento de resolução do LANDSAT ("pixels" = 57 x 79 m).

Quanto aos erros de classificação, estes podem ser minimizados através da escolha do método apropriado durante a análise digital, ao passo que, com relação à segunda fonte de erros, estes são inerentes ao sistema sensor utilizado e só podem ser minimizados pelo avanço tecnológico de futuros satélites com melhor resolução.

A razão da utilização do método Híbrido M-2 e do pós-processamento UNITOT foi para procurar minimizar os erros inerentes à classificação digital. Estes aspectos foram, anteriormente, abordados em três trabalhos sucintamente descritos a seguir.

Escolha do melhor classificador para identificar e avaliar a área de trigo.

Este aspecto foi previamente estudado e descrito por Chen et alii (1981), que realizaram estudos para comparar o desempenho da classificação do trigo utilizando os classificadores: método do paralelepípedo (SINGLE-CELL), método de classificação não-supervisionada ("clustering") K-MÉDIAS e método de classificação gaussiana (MAXVER). Para os classificadores MAXVER e K-MÉDIAS, foram utilizados dois métodos diferentes para adquirir as áreas de treinamento. Quanto as áreas de treinamento para o trigo foram divididas em quatro subclasses, adquiridas subjetivamente pelo analista de acordo com os diferentes padrões tonais observados (em falsa cor) no visualizador do I-100, o classificador MAXVER foi o método que mostrou melhores resultados com alta percentagem de classificação correta (87,3%), erros de inclusão relativamente baixo (12,9%) e menor diferença relativa (+ 0,2%). O método do paralelepípedo também foi testado com opção MULTI-CELL (General Electric, 1975) porém os resultados foram muito inferiores em relação aos apresentados na Tabela 3.1.

TABELA 3.1

DESEMPENHO DA CLASSIFICAÇÃO PONTO A PONTO PARA VÁRIOS CLASSIFICADORES E PROCEDIMENTOS DE TREINAMENTO

| CLASSIFICADOR | DESEMPENHO DA CLASSIFICAÇÃO(%) | | |
|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|--------------------|
| | CLASSIFICAÇÃO CORRETA (CC) | ERRO DE INCLUSAÕ (EI) | DIFERENÇA RELATIVA |
| SINGLE-CELL | 88,1 | 15,8 | -4,5 |
| MAXVER (a) ¹ | 84,6 | 14,8 | -0,7 |
| MAXVER (b) ² | 87,3 | 12,9 | +0,2 |
| K-MÉDIAS (a) ³ | 88,7 | 16,0 | +5,6 |
| K-MÉDIAS (b) ⁴ | 75,3 | 10,7 | -15,7 |

- 1 (a) As áreas de treinamento obtidas das diferentes classes de trigo formaram uma única classe para a aquisição das estatísticas de treinamento (vetor média e matriz de covariância) utilizadas durante a classificação.
- 2 (b) Para cada classe de trigo, obteve-se uma estatística de treinamento.
- 3 (a) As classes foram agrupadas segundo o critério não-iterativo.
- 4 (b) Utilizou-se para a inicialização do "clustering" apenas as informações contidas nas áreas de treinamento obtidas para os outros classificadores.

Escolha do método de aquisição das estatísticas de treinamento.

Uma vez definido o classificador, outro aspecto levado em consideração foi a escolha do melhor processo de aquisição das estatísticas de treinamento (vetor média e matriz de covariância). Este aspecto foi abordado por Lima et alii (1982) que compararam os resultados da classificação do trigo, obtidos utilizando dois métodos de classificação digital: o método M-1 (MAXVER-b), onde as estatísticas de treinamento são adquiridas em talhões conhecidos, representativos dos alvos de interesse, e o método Híbrido, o qual foi chamado método M-2 que consiste, inicialmente, na utilização do classificador não-supervisionado K-MÉDIAS ("clustering"), onde, através da função discriminante (Distância Euclidiana), faz-se o agrupamento dos "pixels" de respostas espectrais similares. Posteriormente, as áreas de treinamento com "pixels" puros foram adquiridas e utilizadas pelo MAXVER.

Esses dois métodos de aquisição das estatísticas de treinamento foram aplicados sobre a mesma área de estudo e, posteriormente, o desempenho de cada método foi avaliado com base em alguns fatores, tais como a classificação correta (CC), o erro de inclusão (EI) e a diferença relativa (DR), utilizando-se as áreas estimadas através das fotografias aéreas e do I-100. Para este estudo, utilizaram-se os resultados da classificação digital e da fotointerpretação de cinco segmentos de 40 km² cada, com diferentes densidades de cultura do trigo.

Para comparar o desempenho dos dois métodos, aplicou-se o teste t ($\alpha=0,05$) para cada um dos fatores mencionados no parágrafo anterior, o que não revelou diferença significativa. O uso do método Híbrido M-2 para obter as estatísticas de treinamento, entretanto, requer menos interação homem/máquina, o que torna o método menos subjetivo.

Filtragem espacial

O terceiro aspecto considerado foi a escolha de um método de pós-processamento, baseado numa filtragem espacial, para refinar os resultados da classificação. Este aspecto foi abordado por Moreira et alii (1982), que utilizaram como pós-processamento o método de Uniformização de Temas-opção UNITOT. Este método envolve dois parâmetros determinados pelo analista: limiar e peso. Neste estudo foram testadas as seguintes combinações de limiares e pesos: (1,2); (2,1); (2,2); (2,3); (3,2); (3,4) e (3,5). Os pontos classificados como trigo para cada combinação foram impressos em forma de mapa alfanumérico na escala de 1:20.000. Fez-se a comparação de cada mapa sobrepondo-se a cada um deles o mapa temático obtido a partir da fotointerpretação. Esta comparação foi feita visualmente, sobre uma mesa de luz, observando-se os erros de omissão e de inclusão. Com base nesta comparação, a combinação limiar 2 e peso 2 foi considerada a melhor.

Para analisar quantitativamente o efeito da combinação limiar 2 e peso 2 sobre os resultados da classificação, os autores acima citados fizeram análises estatísticas selecionando cinco áreas testes (~ 40 km² cada) com diferentes densidades de trigo, tanto no mapa alfanumérico adquirido por esta combinação, quanto no mapa temático. Para este estudo, aplicou-se o teste t com $\alpha = 0,05$ aos dados de: classificação correta (CC), erros de inclusão (EI) e áreas estimadas. O resultado do teste mostrou que o uso do UNITOT melhorou significativamente a classificação correta e diminuiu o erro de inclusão.

Posteriormente, com base nestas áreas testes, esses autores calcularam a diferença relativa e a raiz média quadrática dos erros. Com a filtragem espacial, a diferença relativa mostrou uma redução de 4,5% para 2,7%, e a raiz média quadrática dos erros diminuiu de 126,18 ha para 107,02 ha. Com base nestes resultados, os autores, concluíram que a aplicação do método UNITOT oferece uma estimativa da área mais precisa do que aquelas obtidas sem a sua utilização. Porém, pelo baixo erro de inclusão e maior classificação correta, este método aumentou a exatidão de mapeamento, conforme pode se observar na Tabela 3.2.

TABELA 3.2

DADOS DE CLASSIFICAÇÃO CORRETA E ERRO DE
INCLUSÃO PARA AS ÁREAS TESTES

| ÁREAS TESTES | CLASSIFICAÇÃO CORRETA (CC%) | | ERRO DE INCLUSÃO (EI%) | |
|-----------------|--------------------------------|----------|---------------------------|----------|
| | S/UNITOT | C/UNITOT | S/UNITOT | C/UNITOT |
| 1 | 83,75 | 86,05 | 14,73 | 12,26 |
| 2 | 82,83 | 83,93 | 17,73 | 14,67 |
| 3 | 77,51 | 78,93 | 22,89 | 20,23 |
| 4 | 88,41 | 89,08 | 28,45 | 23,98 |
| 5 | 87,85 | 88,30 | 21,60 | 21,15 |

Com base nestes estudos, definiu-se que seria utilizado neste trabalho o método Híbrido M-2 e como filtragem espacial, o método de Uniformização de Temas-opção UNITOT, com limiar 2 e peso 2.

3.5.3 - ESTIMATIVA DA ÁREA OCUPADA COM TRIGO, PELO USO DE AMOSTRAGEM,
UTILIZANDO DADOS DO MSS DO LANDSAT

Esta fase consistiu em avaliar a viabilidade do uso do processo de estimativa por amostragem para o levantamento da área de trigo.

Dentre os métodos estatísticos existentes, destinados aos levantamentos por amostragem, dois deles foram selecionados para o estudo: a) estimativa por Índice e, b) estimativa pela regressão. Ambos os métodos podem fornecer uma boa precisão da estimativa da área de trigo, se a variável auxiliar X (i.e., área estimada através dos dados

do LANDSAT) for correlacionada com a variável Y (i.e., estimativa de área obtida por fotografias aéreas ou campo). Quanto maior for a correlação entre as variáveis, menor a variância da estimativa pela regressão (Hanuschack et alii, 1979).

Quando a relação entre X e Y for aproximadamente linear e a reta que a representa passar pela origem dos eixos, o processo dos Índices é mais apropriado. Se a reta que representa esta relação não passar pela origem dos eixos, o processo de regressão é o mais indicado (Cochran, 1965).

O processo estatístico empregado nesta fase foi dividido em duas etapas. A primeira etapa consistiu no estudo da correlação existente entre as áreas de trigo, obtidas a partir dos dados do MSS do LANDSAT com as mesmas áreas estimadas através de fotos aéreas, variando-se o tamanho dos segmentos. Com os resultados da análise de correlação, foi possível verificar quais tamanhos de segmentos deveriam ser utilizados para testar os métodos de estimativa por amostragem. A área de estudo foi dividida em 72 unidades de aproximadamente 10 km². Testaram-se os tamanhos de segmentos (unidades amostrais) de 10, 20, 30, 40 e 60 km². Para tamanhos de segmentos acima de 10 km², as áreas foram formadas pela aglutinação de 2, 3, 4 e 6 unidades de 10 km² do seguinte modo:

- 1) para os segmentos com áreas de 20 e 30 km², tomaram-se unidades adjacentes no sentido horizontal, vertical e diagonal da área de estudo;
- 2) para segmentos com áreas de 40 km², tomaram-se unidades adjacentes de áreas de 2 x 2 unidades no sentido horizontal e vertical;

- 3) para tamanho de segmentos de 60 km², usou-se 3 x 2 segmentos no sentido horizontal e 2 x 3 segmentos no sentido vertical.

Devido à área de estudo ter um tamanho fixo de aproximadamente 720 km² e como foram testados diferentes tamanhos de segmentos, o número total de unidades da população, para cada tamanho de segmentos, variou conforme a Tabela 3.3.

TABELA 3.3

NÚMERO DE UNIDADES AMOSTRAIS DA POPULAÇÃO PARA OS
DIFERENTES TAMANHOS DE SEGMENTOS TESTADOS

| TAMANHO DO SEGMENTO (km ²) | 10 | 20 | 30 | 40 | 60 |
|---|----|----|----|----|----|
| Nº DE UNIDADES AMOSTRAIS DA POPULAÇÃO | 72 | 36 | 24 | 18 | 12 |

As áreas estimadas através da interpretação visual das fotos aéreas e da análise digital dos dados do MSS do LANDSAT, em cada segmentos, foram obtidas da seguinte maneira:

- a) sobre o mapa alfanumérico obtido na etapa de classificação digital, fez-se a contagem manual das áreas: (1) classificadas corretamente como trigo; (2) de não-trigo classificadas como trigo e; (3) de trigo, não-classificadas;
- b) as áreas ocupadas com a cultura do trigo, estimadas através do sistema I-100 utilizando dados do MSS do LANDSAT, foram determinadas somando as áreas classificadas conforme os subitens 1 e 2 do item (a);

c) as áreas de trigo obtidas através da interpretação visual de fotografias aéreas foram determinadas somando as áreas classificadas segundo os subitens 1 e 3 do item (a).

Desta forma, várias tabelas contendo as áreas desta cultura, obtidas através de fotografias aéreas e análise digital, foram geradas de acordo com o tamanho do segmento e o sentido (horizontal, vertical e diagonal) considerado na área de estudo. Com os dados contidos nestas tabelas fez-se uma análise de correlação.

Inicialmente estes dados foram plotados num sistema de coordenadas cartesianas, obtendo-se para cada tamanho de segmento um diagrama de dispersão. Obtidos os diagramas de dispersão, notou-se uma relação linear entre as variáveis. Estes dados foram submetidos a uma análise de regressão linear simples, onde foi empregado o método dos mínimos quadrados. Após o estabelecimento da regressão linear simples, procurou-se verificar se os coeficientes lineares das retas diferiram estatisticamente de zero ($\alpha = 0,05$).

Tendo em vista que a reta obtida para cada conjunto de dados não passou pela origem e que os dados do satélite e aeronave apresentaram uma alta correlação, conforme pode ser vista na Tabela 4.1, optou-se pelo uso do método de estimativa pela regressão, cuja fórmula matemática é descrita a seguir (Cochran, 1965).

A estimativa da área de trigo utilizando esta abordagem é obtida por:

$$\hat{Y}_R = N \cdot \bar{Y}_R ,$$

onde:

N = número de segmentos da população.

\hat{Y}_R = área total estimada com trigo.

$$Y_R = \bar{y} + \hat{b} (\bar{X} - \bar{x}).$$

$\bar{y} = \sum_1^n y_i/n$ - área média de trigo obtida dos dados de fotografias aéreas para (n) unidades amostrada.

$\bar{X} = \sum_1^N x_i/N$ - área média de trigo obtida através dos dados do LANDSAT para toda área de estudo (N unidades).

$\bar{x} = \sum_1^n x_i/n$ - área média de trigo obtida dos dados LANDSAT para (n) unidades amostradas.

$$\hat{b} = \frac{\sum_1^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}$$

onde: x_i, y_i , etc. são definidos como acima.

A estimativa da variância para pequenas amostras é dada por:

$$V(\hat{Y}_R) = \frac{N^2}{n} \cdot \frac{N-n}{N} \cdot \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2 \cdot \frac{1-r^2}{n-2} \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{n} + \frac{(\bar{X} - \bar{x})^2}{\sum_1^n (x_i - \bar{x})^2} \right\}$$

onde:

$$r^2 = \frac{\left\{ \sum_1^n (y_i - \bar{y}) \cdot (x_i - \bar{x}) \right\}^2}{\sum_1^n (y_i - \bar{y})^2 \cdot \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}$$

r^2 - coeficiente de determinação entre as áreas de trigo obtidas através das fotografias aéreas e dos dados do LANDSAT para as amostras selecionadas.

Na segunda etapa utilizaram-se, na equação acima, os dados obtidos nas fases anteriores, de interpretação visual das fotos aéreas e da análise digital dos dados do LANDSAT, para estimar a área ocupada com trigo. Para que o emprego deste sistema de amostragem possa fornecer uma estimativa da área de trigo sem tendenciosidade, com alta precisão e exatidão a baixo custo, foram feitos estudos no sentido de selecionar, entre os tamanhos dos segmentos estudados, o mais apropriado para ser utilizado como unidade amostral e ao mesmo tempo determinar o menor número destes segmentos para compor a amostra.

3.5.4 - SELEÇÃO DO TAMANHO DO SEGMENTO E DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE UNIDADES POR AMOSTRA.

O sucesso do uso de esquema de amostragem para levantamento de áreas agrícolas não depende somente da escolha do modelo estatístico a ser utilizado. Dois fatores devem ser considerados num planejamento por amostragem: o tamanho do segmento (unidade amostral) e o número destas unidades que irão constituir a amostra.

De um modo geral, a escolha do tamanho do segmento e da amostra a ser utilizada em qualquer sistema de amostragem é baseada em duas premissas: estatística e econômica. Do ponto de vista estatístico, o tamanho do segmento e da amostra devem ser suficientemente grandes para que as características das amostras representem as características dos parâmetros populacionais correspondentes. Do ponto de vista econômico, deve-se escolher um tamanho de segmento e de amostra, de tal modo que minimize o custo e o tempo dispendidos durante a sua execução.

Por outro lado, como esta pesquisa trata da obtenção de um sistema de amostragem, onde uma das variáveis é a classificação dos dados do MSS do LANDSAT, ela só se torna viável quando a estimativa da área ocupada com trigo, obtida por este processo, for igual ou mais exata do que aquela obtida com o sistema I-100.

Pela comparação da área ocupada com trigo, obtida através do sistema I-100, utilizando-se dados do MSS do LANDSAT (30.447 ha), com a mesma área determinada pela interpretação visual de fotografias aéreas (28.314 Ha), verificou-se que essa diferença em termos percentuais foi de + 7,53%.

Baseado nestes conhecimentos, procurou-se nesta etapa fazer um estudo com o objetivo de minimizar o custo e o tempo dispendido durante os levantamentos por amostragem, quando se utiliza a estimativa pela regressão. Para o atingimento deste objetivo foram testados como unidades amostrais cinco tamanhos de segmentos 10, 20, 30, 40 e 60 km². Cada tamanho de segmento foi considerado como um plano amostral. Procurou-se estudar cada plano amostral variando o tamanho da amostra (i.e., diferentes proporções de área amostrada) e para cada tamanho de amostra, 20 repetições foram extraídas da população, utilizando-se amostragem aleatória simples sem reposição. A Figura 3.2 mostra esquematicamente como foram obtidas as áreas tritícolas utilizadas na estimativa pela regressão para selecionar o tamanho da unidade amostral e o tamanho ótimo da amostra. Porém, a utilização da estimativa pela regressão torna-se inválida quando é usada uma amostra com 2 unidades (n=2). Neste caso, $r^2=1$ e, conseqüentemente, a variância da estimativa assume o valor zero para qualquer que seja a área estimada. Desta forma, para que os resultados não fossem afetados por este fator, o menor número de unidades tomadas para cada plano amostral foi 4.

Uma vez obtidos os resultados das estimativas das áreas ocupadas com trigo para as 20 repetições de cada tamanho de amostra, procurou-se determinar, em cada plano amostral, a menor amostra que estimou a área desta cultura com boa precisão e exatidão. A determinação destas amostras foi feita com base em quatro critérios adotados:

- Critério 1 - que a diferença relativa não fosse maior que $\pm 7,53\%$ para a área obtida com a estimativa pela regressão, diferença esta não maior do que aquela registrada pela interpretação digital;
- Critério 2 - que a média da população das diferenças entre as áreas estimadas pelo sistema amostral e aquela obtida através de fotografias aéreas fosse zero ($\alpha=0,05$);
- Critério 3 - que a estimativa obtida pelo sistema amostral não fosse tendenciosa;
- Critério 4 - que o coeficiente de variação não fosse superior a 5%, ou seja, que o desvio padrão não ultrapassasse 5% da referida estimativa.

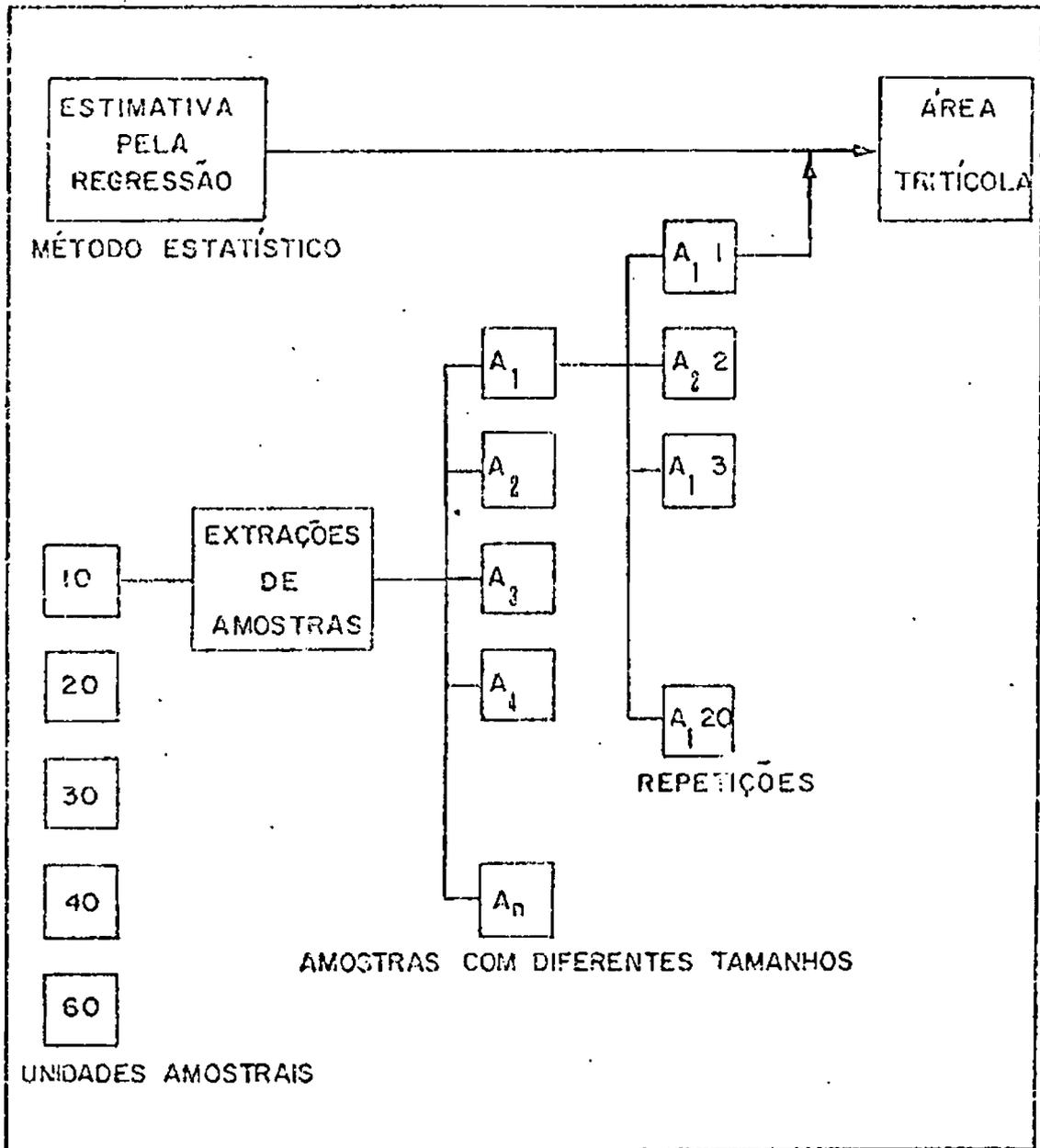


Fig. 3.2 - Esquema do processo de obtenção das áreas tritícolas.

A diferença relativa e o coeficiente de variação são de finidos como:

1) - Diferença Relativa (DR)

$$DR \text{ (ha)} = \bar{Y}_R - 28.314 \text{ ha}$$

ou em percentagem

$$DR \text{ (\%)} = \frac{\bar{Y}_R - 28.314 \text{ ha}}{28.314 \text{ ha}} \times 100,$$

onde 28.314 ha correspondente à área ocupada com trigo, obtida de fotografias aéreas.

2) - Coeficiente de Variação (CV)

$$C.V. \text{ (\%)} = \frac{\sqrt{V(\bar{Y}_R)}}{\bar{Y}_R} \times 100.$$

Os resultados das estimativas das áreas ocupadas com trigo, obtidas de cada tamanho de amostra, foram plotados num conjunto de coordenadas cartesianas. Desta forma, para cada plano amostral testado obteve-se um gráfico, onde no eixo das abscissas variou-se o tamanho da amostra e no eixo das ordenadas, os valores das áreas estimadas. Sobre cada gráfico, três retas paralelas ao eixo das abscissas foram traçadas. Tais retas são: a) uma reta central, a qual representou a área ocupada com trigo, obtida através de fotografias aéreas e; b) duas retas que representaram as áreas superestimadas e subestimadas com diferenças de $\pm 7,53\%$. Através destes gráficos e utilizando o critério 1, foram excluídos todos os tamanhos de amostras que forneceram, pelo menos uma estimativa, dentre as 20 repetições, com uma diferença maior que 7,53%, quando comparado com o parâmetro populacional. Baseado no

critério-1, fez-se a seleção do menor tamanho da amostra de cada plano amostral. Posteriormente, para verificar se a média das diferenças relativas, obtidas de 20 repetições para cada tamanho de amostra selecionada, foi igual a zero, conforme o critério-2, aplicou-se o teste t ($\alpha = 0,05$). Satisfeito o segundo critério, foram tomadas as estimativas das amostras selecionadas e submetidas a uma análise de tendenciosidade de acordo com o critério-3. A análise de tendenciosidade foi verificada através do teste do sinal com $\alpha = 0,05$, (Hoel, 1966). Finalmente, determinou-se para cada estimativa o coeficiente de variação, a fim de verificar, com base no critério-4, se os valores destes coeficientes não ultrapassavam a 5%. Admitiu-se como o menor tamanho da amostra aquele que satisfaz os quatro critérios simultaneamente.

Para quantificar a eficiência da estimativa em que foram utilizados os dados auxiliares do satélite LANDSAT, procurou-se comparar as áreas tritícolas, obtidas através da estimativa pela regressão, com as áreas estimadas usando o método de expansão direta (somente dados de aeronave). Em ambos os métodos foram utilizadas as mesmas unidades amostrais para a aquisição dos dados necessários à estimativa da área. A expressão matemática do método de expansão direta usada neste estudo é:

$$Y_{ED} = N \cdot \left(\sum_1^n y_i / n \right),$$

onde:

Y_{ED} - área ocupada com trigo, obtida dos dados de aeronave para a unidade amostrada i , $i = 1$ a n .

N - número de unidades amostrais da população.

A variância da área estimada foi obtida pela seguinte fórmula:

$$V(\bar{Y}_{ED}) = \frac{N^2}{n(n-1)} \cdot \frac{N-n}{N} \cdot \sum_1^n (y_i - \bar{y})^2.$$

A Eficiência Relativa (ER) da estimativa pela regressão comparada à expansão direta foi medida através da razão das respectivas variâncias, ou seja:

$$E.R. = V(\bar{Y}_{ED}) / V(\bar{Y}_R).$$

A necessidade de repetição de amostra e a precisão nos cálculos matemáticos foram considerados fatores importantes na comparação dos resultados obtidos nas etapas de seleção do tamanho do segmento e na determinação do número de unidades por amostra. Como a estimativa da área de trigo através do método de estimativa pela regressão exige cálculos relativamente complexos, todos os cálculos matemáticos, bem como a extração de amostra, foram feitos pelo computador, conforme o programa apresentado no Apêndice B.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - RESULTADOS ALCANÇADOS COM DADOS DE AERONAVE E DO LANDSAT

Os temas interpretados a partir das fotografias aéreas foram: trigo, solo preparado, pastagem, mata e o tema outros (Tabela 4.1).

TABELA 4.1

TEMAS INTERPRETADOS A PARTIR DE FOTOGRAFIAS AÉREAS, DIVIDIDOS EM CLASSES E SUBCLASSES

| TEMA | SÍMBOLO | |
|----------------|---------|----------------------|
| | CLASSE | SUBCLASSE |
| TRIGO | T | T1 T2 T3 T4 |
| PASTAGEM | P | P1 P2 |
| SOLO PREPARADO | SP | - |
| MATA | M | - |
| OUTROS | O | - |

O tema trigo apresentou diferentes padrões de tonalidades que variaram de magenta escura a clara. Devido a essa diferença no padrão tonal, o tema trigo foi dividido em 4 subclasses denominadas T1, T2, T3 e T4. Posteriormente, com a observação de campo, verificou-se que a variação no padrão de tonalidade foi, principalmente, devido a diferentes varia dades de trigo e a diferentes estágios de desenvolvimento.

O tema pastagem foi considerado de forma generalizada in cluindo pastagem natural, cultivada e áreas em pousio. A maior parte da pastagem apresentou-se bastante degradada na época do aerolevanteamento. Nos locais onde houve condições mais favoráveis de umidade, constatou-se a presença de pastagem mais exuberante. Tal fato acarretou o aparecimento de dois padrões de tonalidades quando observados através de fotografias aéreas: 1) magenta bem clara mosqueada de verde, que é característica de pastagem degradada ou áreas em pousio, e, 2) magenta clara mosqueada por outra magenta mais escura, semelhante a um dos padrões tonais de trigo para as áreas onde a pastagem apresentou maior vigor vegetativo. Por es ta razão o tema pastagem foi dividido em 2 subclasses denominadas P1 e P2.

No caso dos talhões de pastagem que apresentaram um pa drão de tonalidade semelhante ao do trigo, a separação visual dos dois te mas (trigo e pastagem) foi possível utilizando as características espaci ais, texturais e informações complementares como: curvas de nível, car readores, presença de gado e localização da área problema com relação aos alvos vizinhos

O tema outros incluiu cidade, estradas e rios presentes na área de estudo. Este tema junto com os temas mata e solo preparado, por apresentar padrões de tonalidade distintos do tema trigo, não foram divi didos em subclasses.

O tema mata teve como fator preponderante para a sua iden tificação a textura rugosa característica. A principal razão para sua interpretação foi servir como um dos pontos de referência para a locali zação da área de estudo nos dados do LANDSAT.

Durante a fase de interpretação digital, em que foi utilizado o método Híbrido M-2, as diferentes feições da área de estudo foram agrupadas, pela abordagem K-MÉDIAS ("clustering"), em oito classes espectrais homogêneas. Essas classes foram assim distribuídas: quatro classes espectrais para o tema trigo, duas classes para o tema pastagem, uma classe espectral para o tema mata e uma classe para o solo preparado.

A separação dos temas trigo e pastagem em quatro e duas classes espectrais, respectivamente, pela abordagem K-MÉDIAS, serviu para mostrar que as várias tonalidades do trigo e pastagem manifestadas nas fotos aéreas também foram constatadas pelo sensor MSS do LANDSAT devido à mudança de nível de cinza. Isto levou à conclusão de que as classes trigo e pastagem não apresentaram um único comportamento espectral de forma gaussiana, o que é pré-requisito para o uso do classificador MAXVER e, portanto, foram divididas em subclasses espectrais.

O tema "outros", constituído em sua maior parte pela cidade de Cruz Alta, foi agrupado nos temas pastagem e solo preparado por apresentar muito solo exposto e algumas áreas com vegetação; portanto, espectralmente semelhante a esses temas.

Embora as culturas de cevada e centeio influenciem os resultados da classificação digital da cultura do trigo, no município de Cruz Alta, segundo a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1979) no ano de 1979 não houve plantio de centeio e a área plantada com cevada foi apenas 104 ha, o que representa, em termos percentuais, 0,03% da área daquele município.

Nas Tabelas 4.2 a 4.6 são mostrados, para cada segmento estudado (10, 20, 30, 40 e 60 km²), os resultados comparativos das áreas ocupadas com trigo, obtidas a partir da interpretação das fotos aéreas e da classificação digital utilizando dados do MSS do LANDSAT.

TABELA 4.2

ÁREAS OCUPADAS COM A CULTURA DO TRIGO, OBTIDAS ATRAVÉS DE DADOS DO
LANDSAT E DE FOTOS AÉREAS, PARA OS SEGMENTOS DE 10 km²

| Nº DO SEGMENTO | ÁREA DE TRIGO (ha) | | Nº SEGMENTO | ÁREA DE TRIGO (ha) | |
|-------------------|--------------------|------------|----------------|--------------------|------------|
| | LANDSAT | FOTO AÉREA | | LANDSAT | FOTO AÉREA |
| 1 | 551,50 | 470,89 | 37 | 460,44 | 435,65 |
| 2 | 568,53 | 464,32 | 38 | 462,83 | 460,14 |
| 3 | 579,28 | 497,76 | 39 | 606,76 | 570,52 |
| 4 | 491,17 | 452,97 | 40 | 525,83 | 486,42 |
| 5 | 673,64 | 644,98 | 41 | 604,36 | 568,50 |
| 6 | 402,81 | 325,47 | 42 | 395,05 | 356,84 |
| 7 | 636,91 | 573,01 | 43 | 716,04 | 650,35 |
| 8 | 677,82 | 559,58 | 44 | 634,23 | 644,08 |
| 9 | 520,16 | 419,53 | 45 | 574,80 | 551,51 |
| 10 | 593,91 | 466,11 | 46 | 478,56 | 487,82 |
| 11 | 647,07 | 590,63 | 47 | 469,70 | 402,81 |
| 12 | 329,35 | 318,61 | 48 | 286,36 | 325,63 |
| 13 | 690,96 | 686,18 | 49 | 639,30 | 498,66 |
| 14 | 386,98 | 303,97 | 50 | 368,47 | 340,70 |
| 15 | 711,26 | 577,52 | 51 | 467,31 | 467,01 |
| 16 | 587,64 | 513,59 | 52 | 208,72 | 200,06 |
| 17 | 659,60 | 596,60 | 53 | 444,32 | 553,60 |
| 18 | 448,49 | 417,44 | 54 | 416,25 | 452,98 |
| 19 | 270,83 | 182,74 | 55 | 565,25 | 542,26 |
| 20 | 206,03 | 103,31 | 56 | 478,36 | 426,70 |
| 21 | 300,69 | 280,68 | 57 | 272,32 | 235,89 |
| 22 | 352,94 | 266,05 | 58 | 153,18 | 120,34 |
| 23 | 341,30 | 311,14 | 59 | 213,80 | 239,18 |
| 24 | 509,11 | 396,54 | 60 | 294,12 | 338,01 |
| 25 | 438,64 | 438,16 | 61 | 587,64 | 570,62 |
| 26 | 196,78 | 209,92 | 62 | 553,31 | 550,92 |
| 27 | 350,85 | 300,69 | 63 | 443,42 | 441,33 |
| 28 | 515,68 | 486,12 | 64 | 392,96 | 365,19 |
| 29 | 180,95 | 163,93 | 65 | 93,46 | 65,69 |
| 30 | 409,68 | 384,00 | 66 | 482,54 | 487,32 |
| 31 | 305,17 | 286,06 | 67 | 282,18 | 268,44 |
| 32 | 671,85 | 676,63 | 68 | 48,67 | 34,94 |
| 33 | 375,94 | 426,10 | 69 | 260,68 | 278,59 |
| 34 | 194,69 | 197,97 | 70 | 212,90 | 194,39 |
| 35 | 197,67 | 262,47 | 71 | 44,19 | 20,60 |
| 36 | 21,50 | 6,87 | 72 | 303,08 | 272,97 |

TABELA 4.3

ÁREAS OCUPADAS COM A CULTURA DO TRIGO, OBTIDAS ATRAVÉS DE DADOS DO LANDSAT E DE FOTOS AÉREAS, PARA OS SEGMENTOS DE 20 km²

| Nº DO SEGMENTO | ÁREA DE TRIGO (ha) | | Nº DO SEGMENTO | ÁREA DE TRIGO (ha) | |
|-------------------|--------------------|------------|-------------------|--------------------|------------|
| | LANDSAT | FOTO AÉREA | | LANDSAT | FOTO AÉREA |
| 1 | 1120,05 | 935,22 | 19 | 476,86 | 286,06 |
| 2 | 1076,45 | 950,74 | 20 | 653,63 | 546,74 |
| 3 | 1076,45 | 970,45 | 21 | 850,41 | 707,68 |
| 4 | 923,27 | 893,41 | 22 | 1043,60 | 968,96 |
| 5 | 1132,59 | 1059,04 | 23 | 427,60 | 356,26 |
| 6 | 999,41 | 965,37 | 24 | 507,91 | 577,19 |
| 7 | 1314,73 | 1132,59 | 25 | 635,42 | 644,42 |
| 8 | 1114,08 | 885,65 | 26 | 866,53 | 786,81 |
| 9 | 976,42 | 909,24 | 27 | 590,63 | 547,93 |
| 10 | 1350,26 | 1294,43 | 28 | 1140,95 | 1121,54 |
| 11 | 1053,46 | 1038,83 | 29 | 836,38 | 806,51 |
| 12 | 756,05 | 738,44 | 30 | 576,00 | 533,00 |
| 13 | 1077,95 | 990,16 | 31 | 977,02 | 962,69 |
| 14 | 1298,91 | 1191,12 | 32 | 570,62 | 624,07 |
| 15 | 1108,10 | 1014,04 | 33 | 219,17 | 269,33 |
| 16 | 1007,78 | 839,36 | 34 | 330,85 | 303,38 |
| 17 | 676,06 | 667,07 | 35 | 473,57 | 472,98 |
| 18 | 860,56 | 1006,58 | 36 | 347,27 | 294,12 |

TABELA 4.4

ÁREAS OCUPADAS COM A CULTURA DO TRIGO, OBTIDAS ATRAVÉS DE DADOS DO
LANDSAT E DE FOTOS AÉREAS, PARA OS SEGMENTOS DE 30 km²

| Nº DO SEGMENTO | ÁREA DE TRIGO (ha) | | Nº DO SEGMENTO | ÁREA DE TRIGO (ha) | |
|-------------------|--------------------|------------|-------------------|--------------------|------------|
| | LANDSAT | FOTO AÉREA | | LANDSAT | FOTO AÉREA |
| 1 | 1699,33 | 1432,98 | 13 | 777,55 | 566,74 |
| 2 | 1573,62 | 1423,43 | 14 | 1203,36 | 973,73 |
| 3 | 1530,02 | 1466,42 | 15 | 1318,02 | 1204,85 |
| 4 | 1525,25 | 1451,79 | 16 | 661,10 | 697,53 |
| 5 | 1834,90 | 1552,13 | 17 | 986,28 | 944,77 |
| 6 | 1570,34 | 1375,35 | 18 | 1106,31 | 1034,05 |
| 7 | 1925,07 | 1845,94 | 19 | 1584,37 | 1562,87 |
| 8 | 1234,71 | 1225,75 | 20 | 968,96 | 918,20 |
| 9 | 1789,21 | 1667,68 | 21 | 1352,95 | 1388,79 |
| 10 | 1695,75 | 1527,64 | 22 | 413,86 | 467,31 |
| 11 | 1475,08 | 1306,38 | 23 | 591,53 | 581,97 |
| 12 | 1069,64 | 1206,64 | 24 | 560,17 | 488,51 |

TABELA 4.5

ÁREAS OCUPADAS COM A CULTURA DO TRIGO, OBTIDAS ATRAVÉS DE DADOS DO LANDSAT E DE FOTOS AÉREAS, PARA OS SEGMENTOS DE 40 km²

| Nº DO SEGMENTO | ÁREA DE TRIGO (ha) | | Nº DO SEGMENTO | ÁREA DE TRIGO (ha) | |
|----------------|--------------------|------------|----------------|--------------------|------------|
| | LANDSAT | FOTO AÉREA | | LANDSAT | FOTO AÉREA |
| 1 | 2434,78 | 2067,80 | 10 | 2273,54 | 2190,22 |
| 2 | 1554,81 | 1276,22 | 11 | 2051,38 | 1808,32 |
| 3 | 1612,44 | 1610,77 | 12 | 1471,80 | 1424,92 |
| 4 | 2190,52 | 1836,39 | 13 | 2186,05 | 2095,87 |
| 5 | 1952,53 | 1737,85 | 14 | 1103,62 | 1023,30 |
| 6 | 1437,16 | 1410,88 | 15 | 1309,95 | 1279,50 |
| 7 | 2052,87 | 1879,69 | 16 | 1755,47 | 1703,81 |
| 8 | 1958,50 | 1721,72 | 17 | 1368,49 | 1583,67 |
| 9 | 809,80 | 817,27 | 18 | 923,27 | 847,13 |

TABELA 4.6

ÁREAS OCUPADAS COM A CULTURA DO TRIGO, OBTIDAS ATRAVÉS DE DADOS DO LANDSAT E DE FOTOS AÉREAS, PARA OS SEGMENTOS DE 60 km²

| Nº DO SEGMENTO | ÁREA DE TRIGO (ha) | | Nº DO SEGMENTO | ÁREA DE TRIGO (ha) | |
|----------------|--------------------|------------|----------------|--------------------|------------|
| | LANDSAT | FOTO AÉREA | | LANDSAT | FOTO AÉREA |
| 1 | 3534,23 | 2928,10 | 7 | 2793,10 | 2511,23 |
| 2 | 3143,96 | 2798,78 | 8 | 1730,38 | 1904,17 |
| 3 | 3455,10 | 3312,37 | 9 | 2339,23 | 2333,56 |
| 4 | 2759,95 | 2677,55 | 10 | 1520,17 | 1501,36 |
| 5 | 2566,76 | 2234,42 | 11 | 2175,90 | 2144,84 |
| 6 | 2899,11 | 2501,37 | 12 | 1529,13 | 1406,70 |

Muito embora o método Híbrido M-2 tenha sido o melhor entre os métodos estudados (Lima et alii, 1982), houve uma certa confusão da classe trigo com a classe pastagem e, em menor intensidade, com a classe mata (Tabela 4.7). Isto se deve ao fato de que, na época da tomada dos dados do LANDSAT, alguns talhões de pastagem mais exuberantes tiveram resposta espectral semelhante à do trigo. Para o caso da classe mata, notou-se que, na maioria das vezes onde havia confusão com o trigo, a vegetação era muito esparsa, com predominância de um estrato inferior graminóide, o que provavelmente causou uma semelhança de resposta espectrais.

TABELA 4.7

MATRIZ DA CLASSIFICAÇÃO

| | N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|------------|-----|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1. TRIGO 1 | 0,0 | 100,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 2. TRIGO 2 | 0,0 | 0,0 | 99,0 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| 3. TRIGO 3 | 0,0 | 3,1 | 1,6 | 93,7 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 1,6 | 0,0 |
| 4. MATA | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 96,1 | 0,0 | 0,0 | 2,6 | 1,3 |
| 5. SOLONU | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 97,9 | 0,0 | 2,1 | 0,0 |
| 6. PASTO 1 | 1,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 86,5 | 12,5 | 0,0 |
| 7. PASTO 2 | 0,0 | 0,4 | 0,4 | 1,1 | 0,6 | 0,0 | 8,5 | 88,6 | 0,4 |
| 8. TRIGO 4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 6,2 | 93,7 |

* - N = pontos da área amostrada que não foram classificadas em nenhum dos temas;

- os números de 1 a 8 na horizontal da matriz correspondem aos temas contidos na linha vertical;

- os números contidos na diagonal principal indicam a percentagem da classificação correta de cada tema contido na matriz;

- os demais números da matriz indicam o grau de confusão entre os temas.

Conforme se observa nas Tabelas 4.2 a 4.6, de um modo geral as áreas estimadas com a cultura do trigo, através do I-100, utilizando os dados do MSS do LANDSAT foram superestimadas quando comparadas com as mesmas áreas obtidas através da interpretação visual das fotografias aéreas. A causa desta superestimativa foi atribuída ao problema de resolução do sistema sensor do LANDSAT, bem como à confusão de respostas espectrais dos temas mata e pastagem com o tema trigo. Em alguns segmentos as áreas tritícolas foram subestimadas. Isto pode ser explicado pelo fato de que a pastagem nestes segmentos encontrava-se em estado bastante degradado, não sendo espectralmente confundida com o trigo (baixo erro de inclusão). Por outro lado, a baixa densidade da cultura do trigo em alguns talhões destes segmentos, ocasionada por falha no plantio, forneceram uma resposta espectral semelhante à resposta espectral de solo preparado, causando assim o erro de omissão durante a classificação digital. Os altos erros de omissão não foram compensados pelos erros de inclusão, conseqüentemente, houve uma subestimativa da área de trigo nestes segmentos.

4.2 - ESTIMATIVA DA ÁREA OCUPADA COM TRIGO PELO SISTEMA DE AMOSTRAGEM

4.2.1 - ANÁLISE DA CORRELAÇÃO

A Tabela 4.8 mostra os coeficientes de correção para os segmentos estudados.

TABELA 4.8

COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO ENTRE ÁREAS DE TRIGO ESTIMADAS USANDO DADOS DO LANDSAT E FOTOGRAFIAS AÉREAS

| TAMANHO DO SEGMENTO (km ²) | Nº DE OBSERVAÇÕES | COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO | | |
|--|-------------------|---------------------------|----------|----------|
| | | SENTIDO | | |
| | | HORIZONTAL | VERTICAL | DIAGONAL |
| 60 | 12 | 0,97 | 0,98 | - |
| 40 | 18 | 0,97 | 0,98 | 0,98* |
| 30 | 24 | 0,97 | 0,98 | 0,96 |
| 20 | 36 | 0,97 | 0,98 | 0,96 |
| 10 | 72 | 0,96 | 0,96 | 0,96 |

* Este coeficiente foi calculado utilizando segmentos de 2 x 2 unidades básicas de 10 km².

De acordo com os resultados observados na Tabela 4.8, nota-se que, independente do tamanho dos segmentos e do sentido, todos os coeficientes de correlação foram altamente significativos ($\alpha = 0,05$) e tiveram valores iguais ou acima de 0,96. Isto mostra que, para os tamanhos de segmentos estudados, há uma alta correlação entre a área estimada com dados do LANDSAT e a área obtida através das fotografias aéreas.

4.2.2 - ANÁLISE DE REGRESSÃO SIMPLES

Devido à alta correlação ($r \geq 0,96$) obtida, a análise de regressão simples foi feita apenas para os dados dos segmentos de 10, 20 e 30 km² tomados no sentido horizontal e para os segmentos de 40 e 60 km² foram utilizados os resultados obtidos somando 2 x 2 e 3 x 3 unidades de 10 km², respectivamente. Os gráficos das Figuras 4.1 a 4.5 mostram a correlação existente entre as áreas estimadas com a cultura do trigo, obtidas através de dados do MSS do LANDSAT e dados de fotografias aéreas.

Uma vez determinadas as equações das retas que representaram a relação entre as variáveis, testaram-se os coeficientes de interseção das retas para verificar se eram diferentes de zero. Para isto, aplicou-se o teste t ($\alpha = 0,05$), cujo resultado mostrou que os coeficientes de interseção das retas para os cinco planos amostrais diferiram estatisticamente de zero.

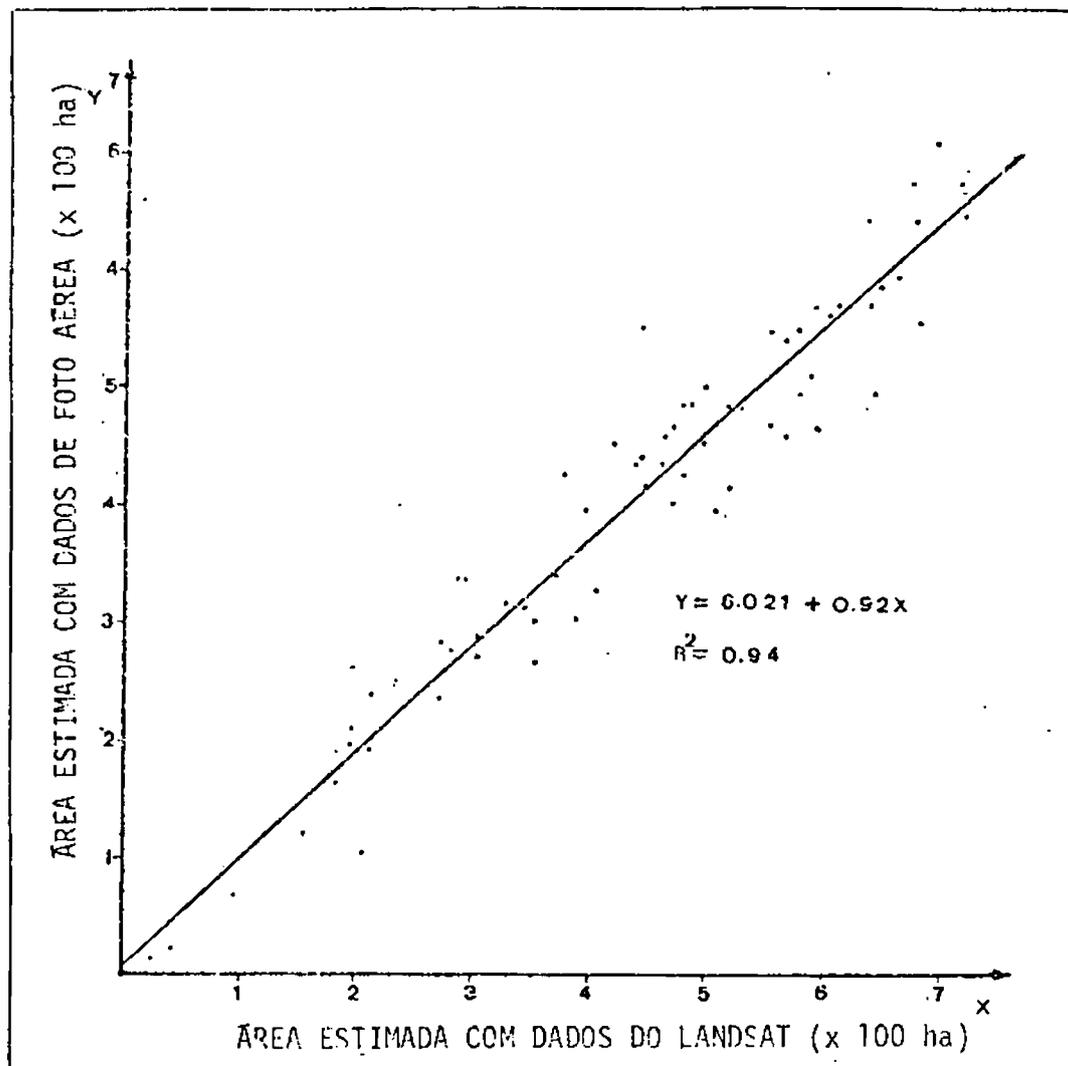


Fig. 4.1 - Regressão entre as estimativas das áreas de trigo, obtidas através de dados do LANDSAT e dados de aeronave, para o tamanho de segmento de 10 km².

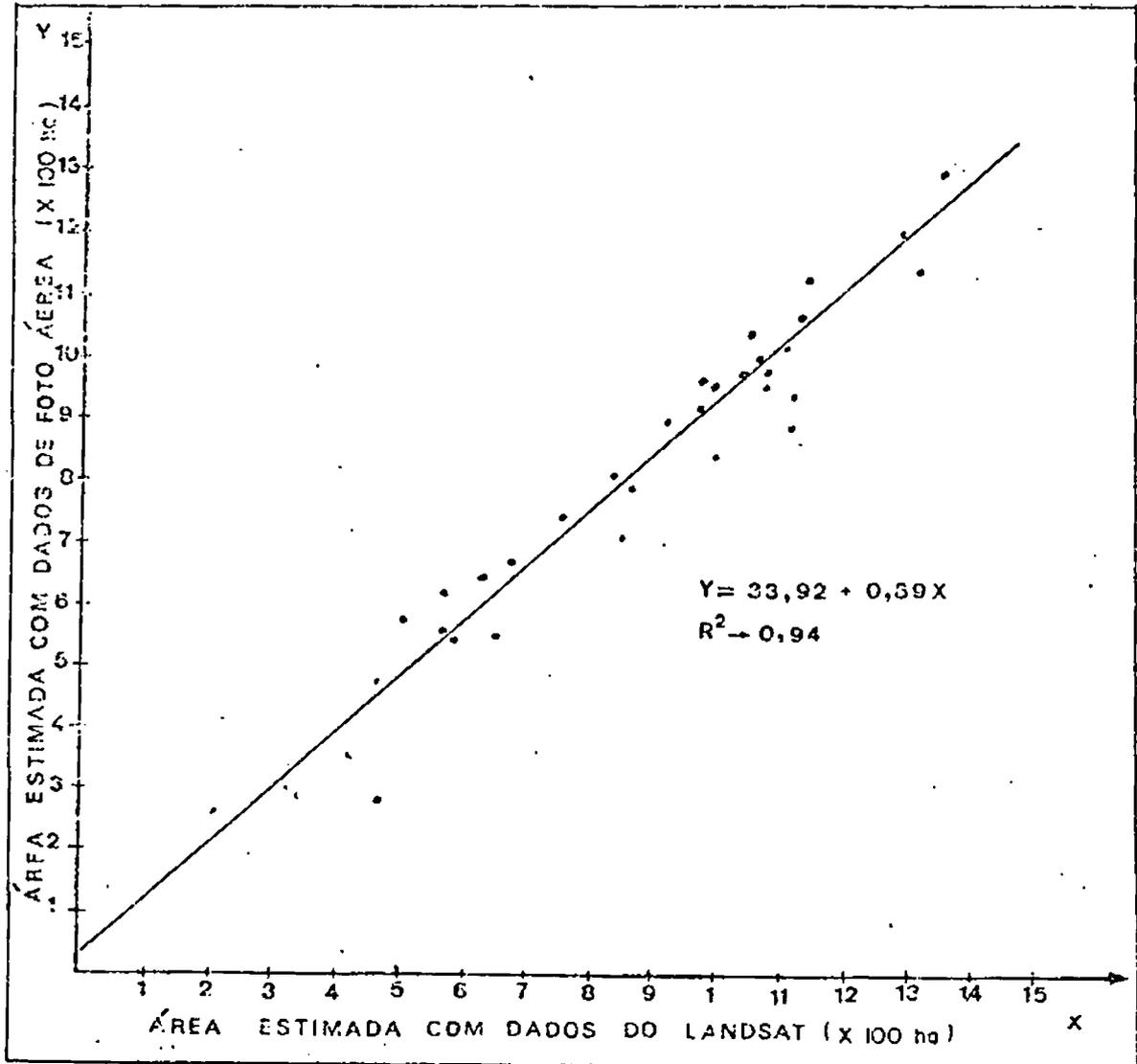


Fig. 4.2 - Regressão entre as estimativas das áreas de trigo, obtidas através de dados do LANDSAT e dados de aeronave, para o tamanho de segmento de 20 km².

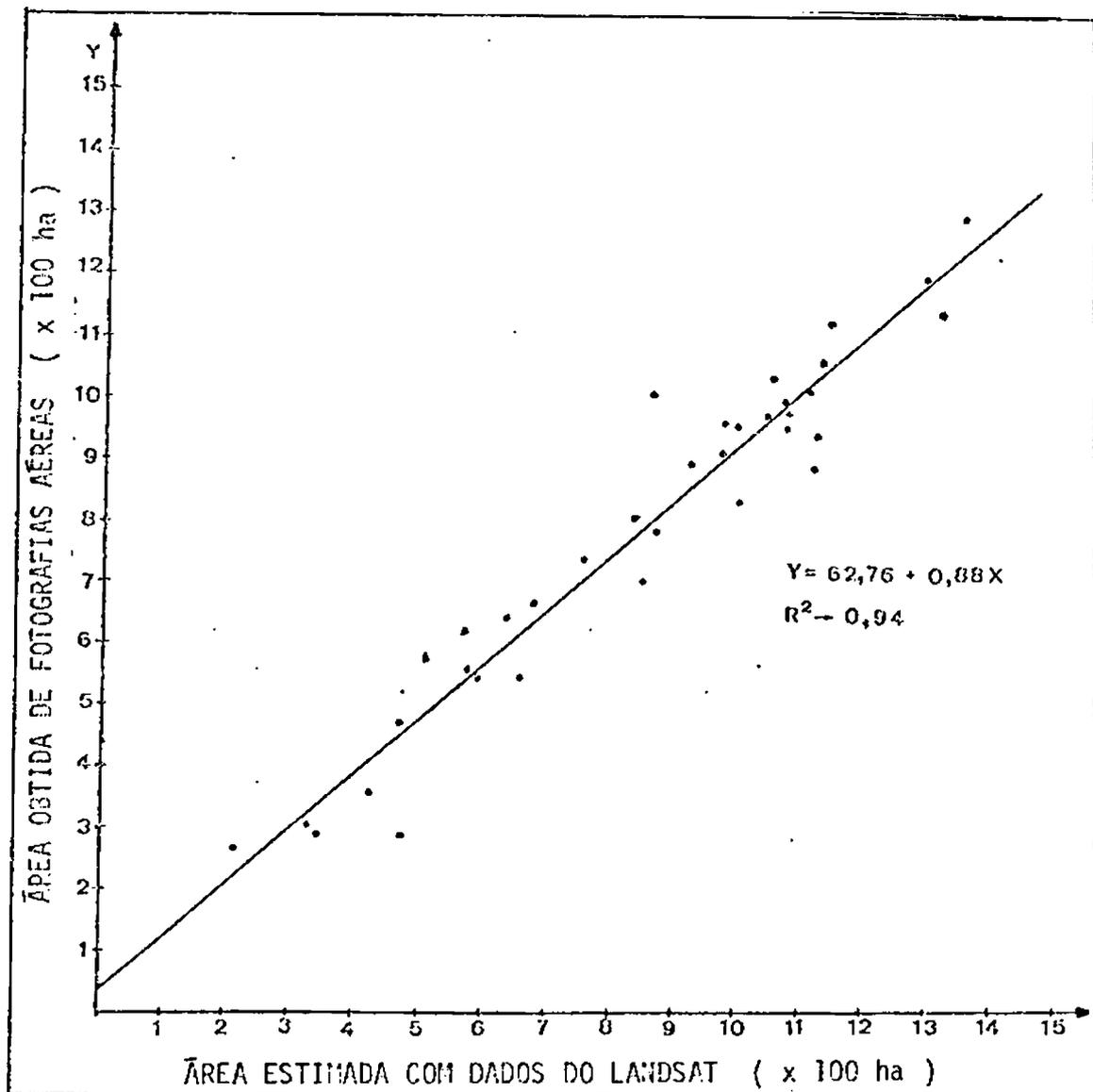


Fig. 4.3 - Regressão entre as estimativas das áreas de trigo, obtidas através de dados do LANDSAT e dados de aeronave, para o tamanho de segmento de 30 km².

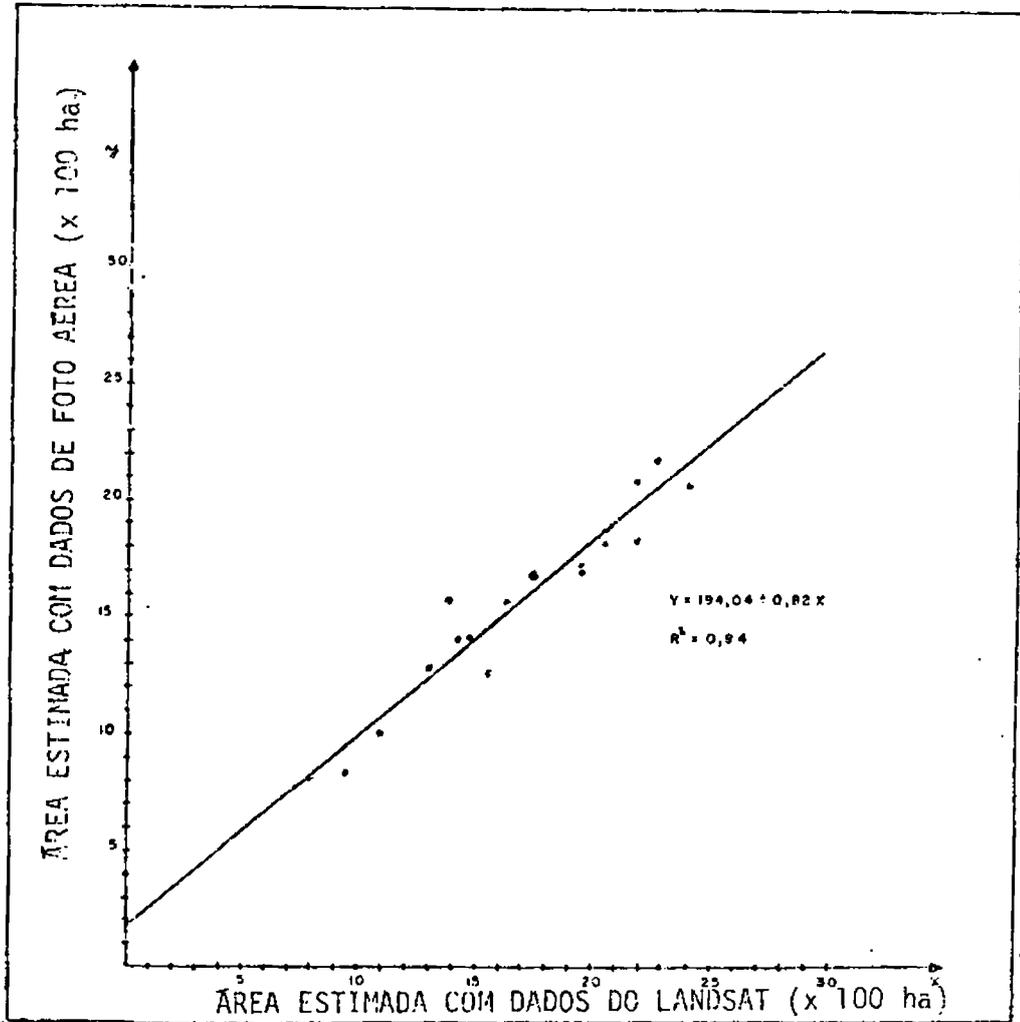


Fig. 4.4 - Regressão entre as estimativas das áreas de trigo, obtidas através de dados do LANDSAT e com dados de aeronave, para o tamanho de segmento de 40 km².

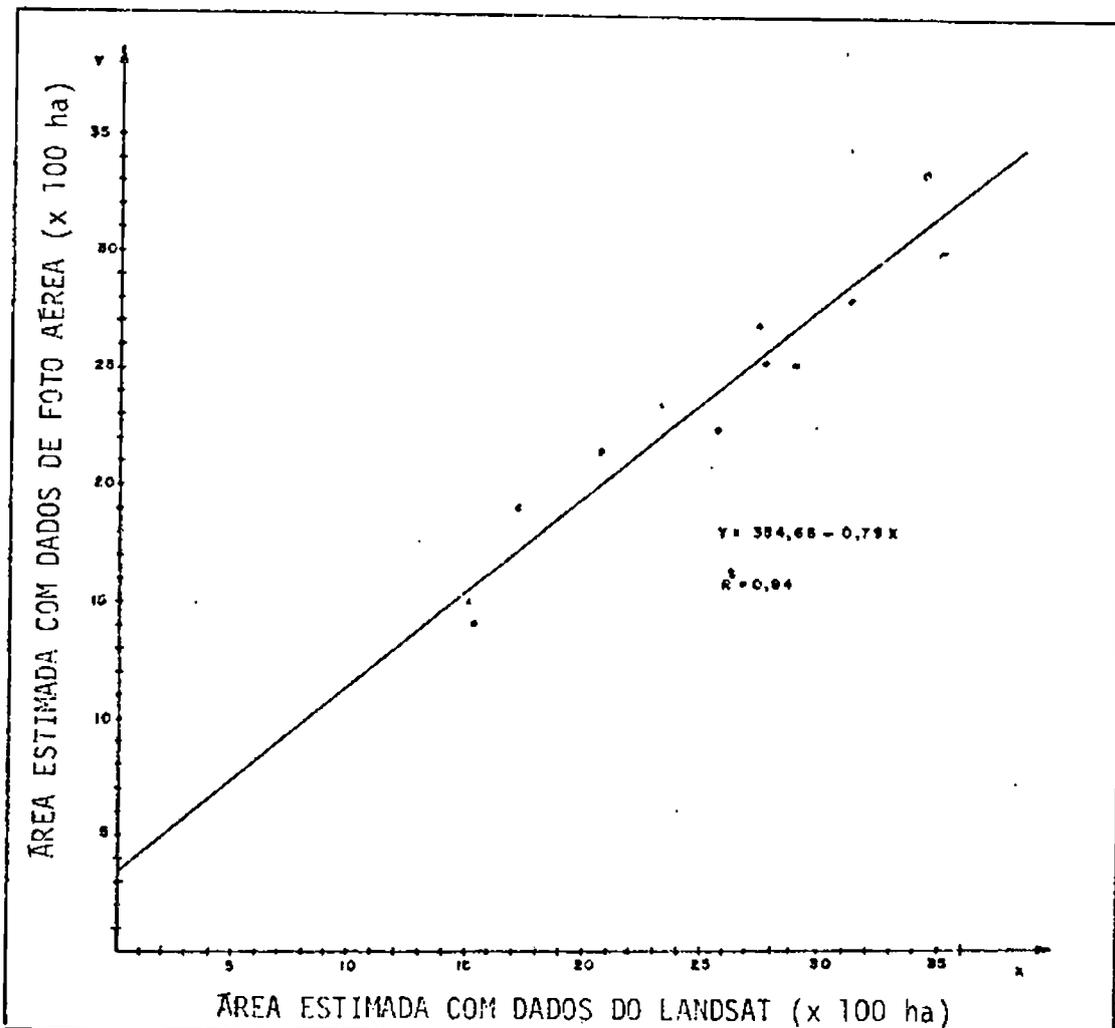


Fig. 4.5 - Regressão entre as estimativas das áreas de trigo, obtidas através de dados do LANDSAT e com dados de aeronave, para o tamanho de segmento de 60 km².

Verificando que os resultados obtidos do LANDSAT e das fotos aéreas apresentaram uma alta correlação ($r \geq 0,96$) e as equações lineares não passaram pela origem dos eixos de acordo com indicações de Cochram (1965), optou-se pelo método de regressão para a estimativa da área de trigo na região de estudo.

4.2.3 - SELEÇÃO DO TAMANHO DO SEGMENTO E DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE UNIDADES POR AMOSTRA

As Figuras 4.6 a 4.10 contêm as estimativas das áreas ocupadas com trigo, obtidas pelo método de regressão para os cinco planos amostrais e variando-se o tamanho da amostra. Para cada tamanho de amostra foram obtidas estimativas de 20 repetições.

Com base no primeiro critério adotado na Capítulo 3, excluíram-se todos os tamanhos de amostras que forneceram pelo menos uma estimativa com diferença superior a 7,53%. Nas Figuras 4.6 a 4.10 pode-se ver que o menor tamanho de amostra (para cada plano amostral) que satisfaz este critério foi composto de 10, 8, 8, 6 e 5 unidades para os tamanhos de segmentos de 10, 20, 30, 40 e 60 km². Em termos percentuais de área amostrada isto equivale a 13,90%; 22,22%; 33,33%; 33,33% e 41,67% respectivamente.

Nas Tabelas 4.9 a 4.13 estão os resultados das áreas tritícolas, obtidas através da estimativa pela regressão, para os tamanhos de amostras selecionadas. Mostra-se, também, nestas tabelas o valor da diferença relativa e do coeficiente de variação para a área estimada em cada repetição.

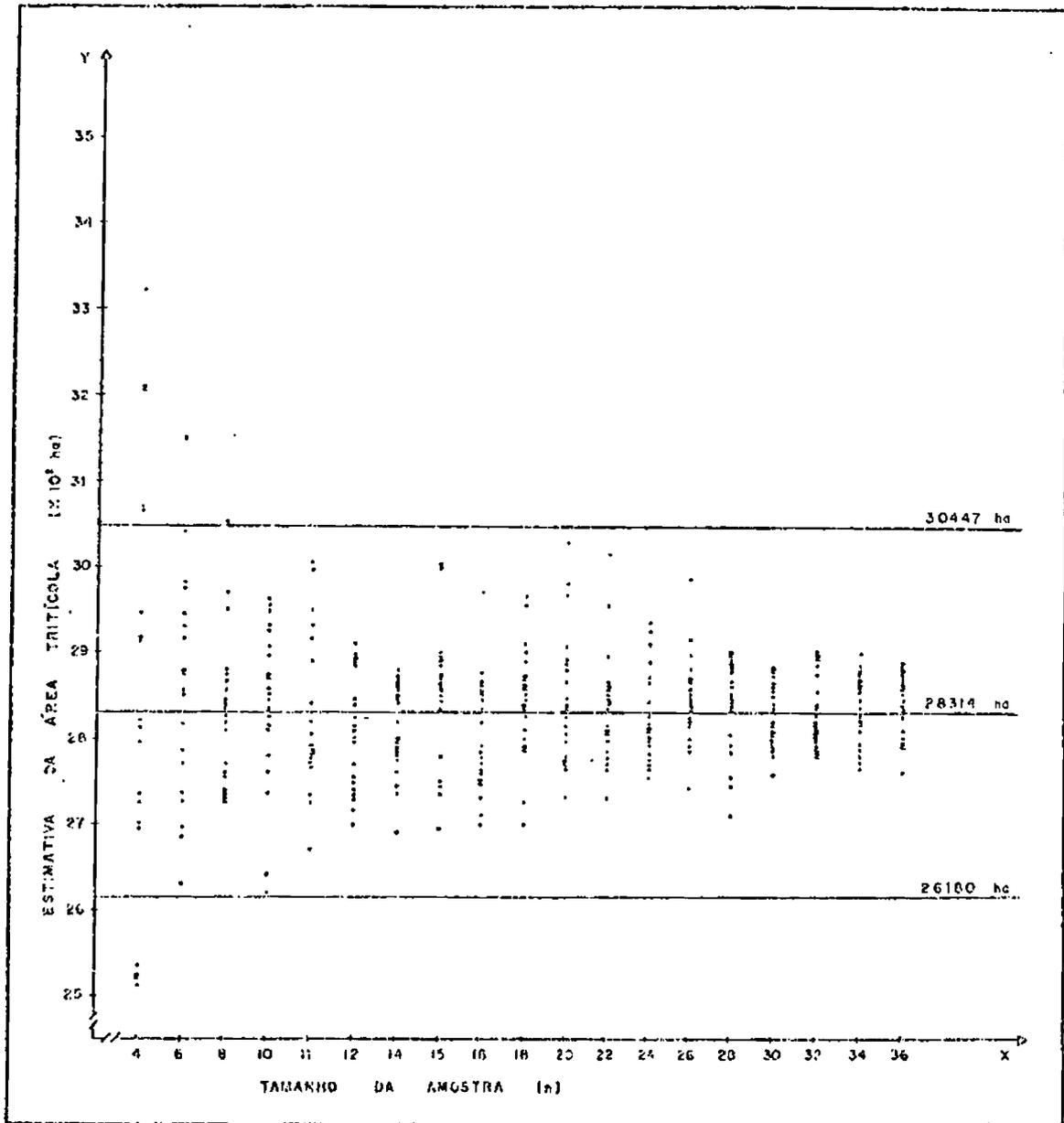


Fig. 4.6 - Estimativa da área tritícola, obtida através da estimativa pela regressão, usando segmentos de 10 km² e variando o tamanho da amostra.

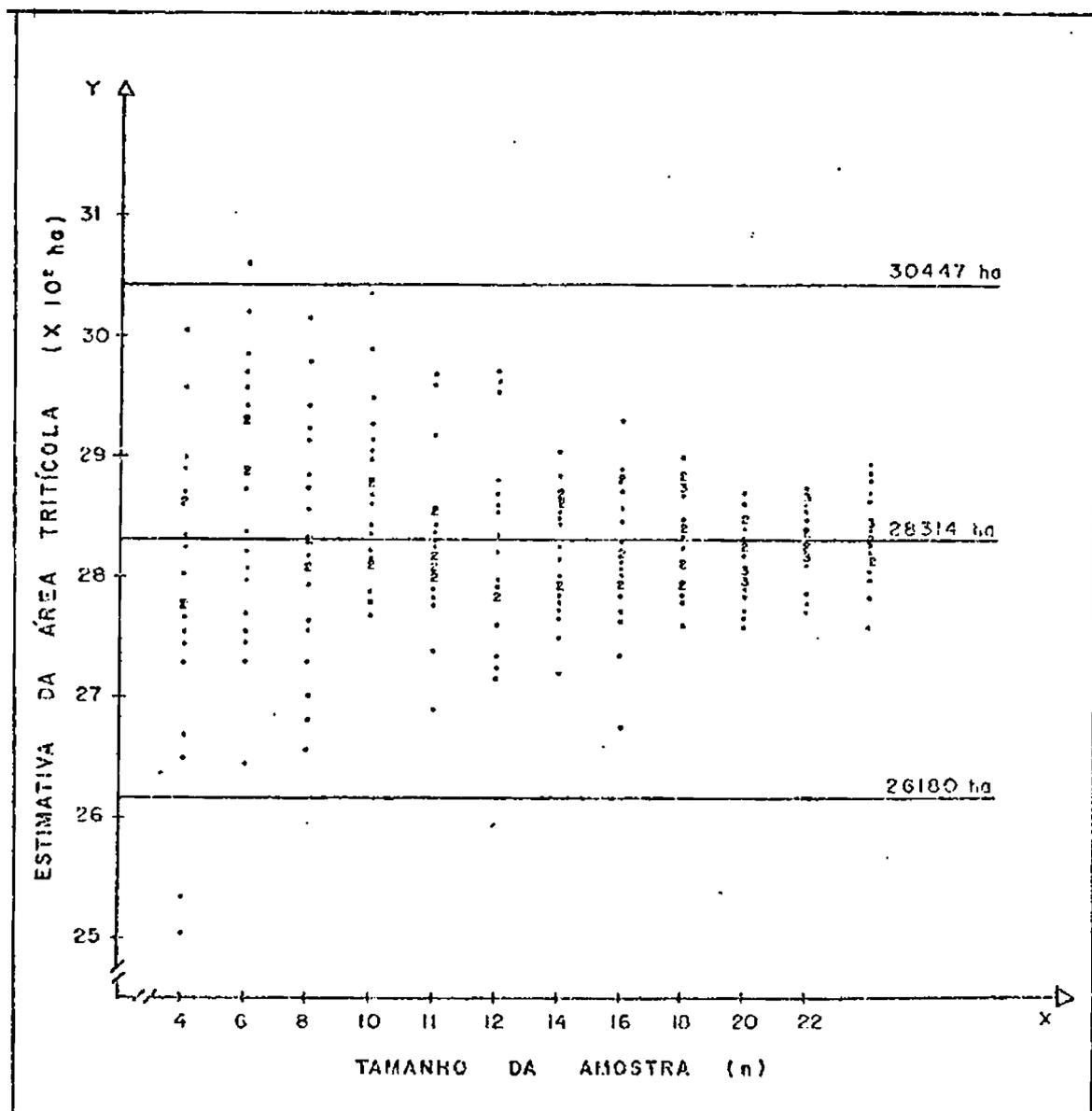


Fig. 4.7 - Estimativa da área tritícola, obtida através da estimativa pela regressão, usando segmentos de 20 km² e variando o tamanho da amostra.

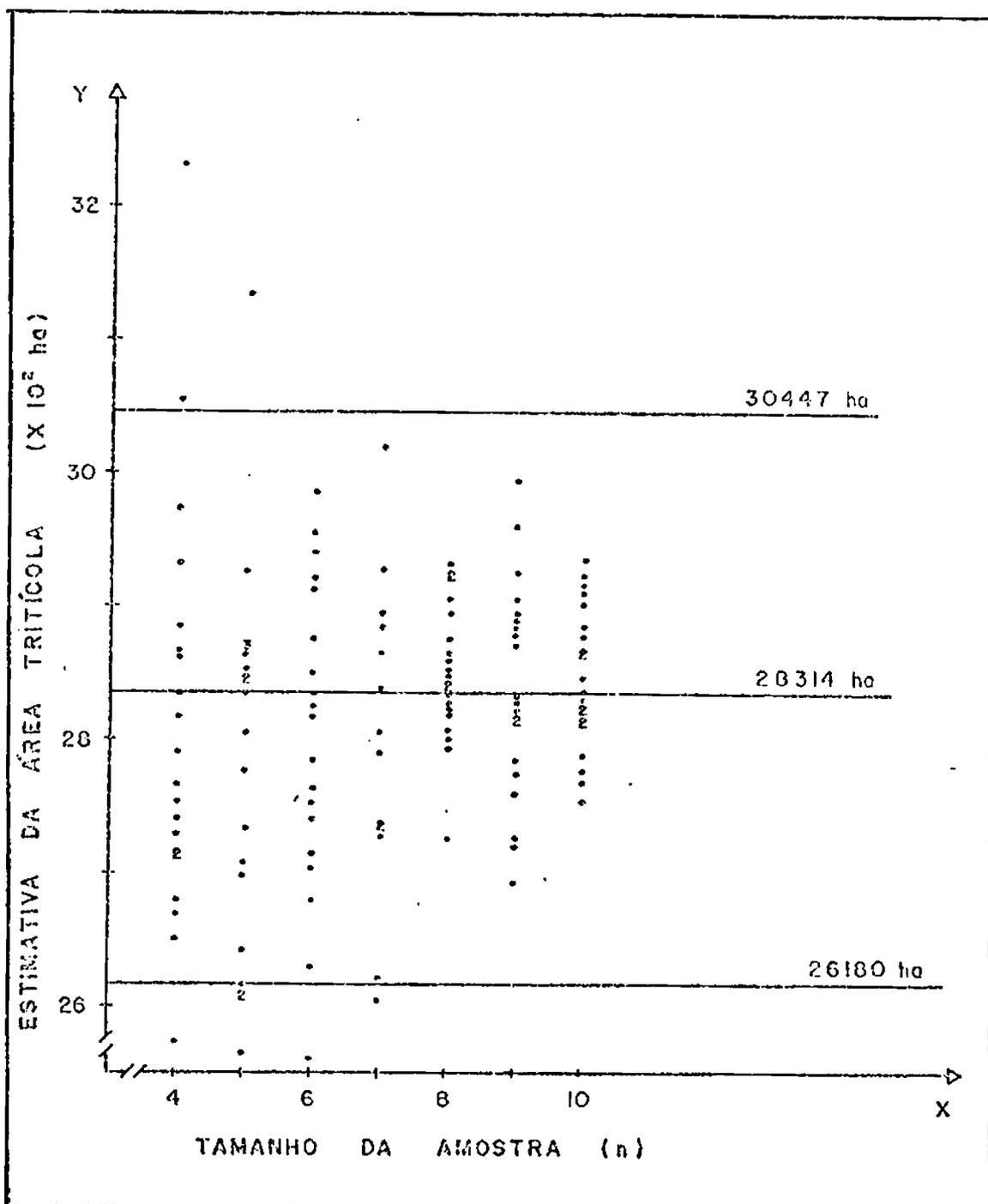


Fig. 4.8 - Estimativa da área tritícola, obtida através da estimativa pela regressão, usando segmentos de 30 km² e variando o tamanho da amostra.

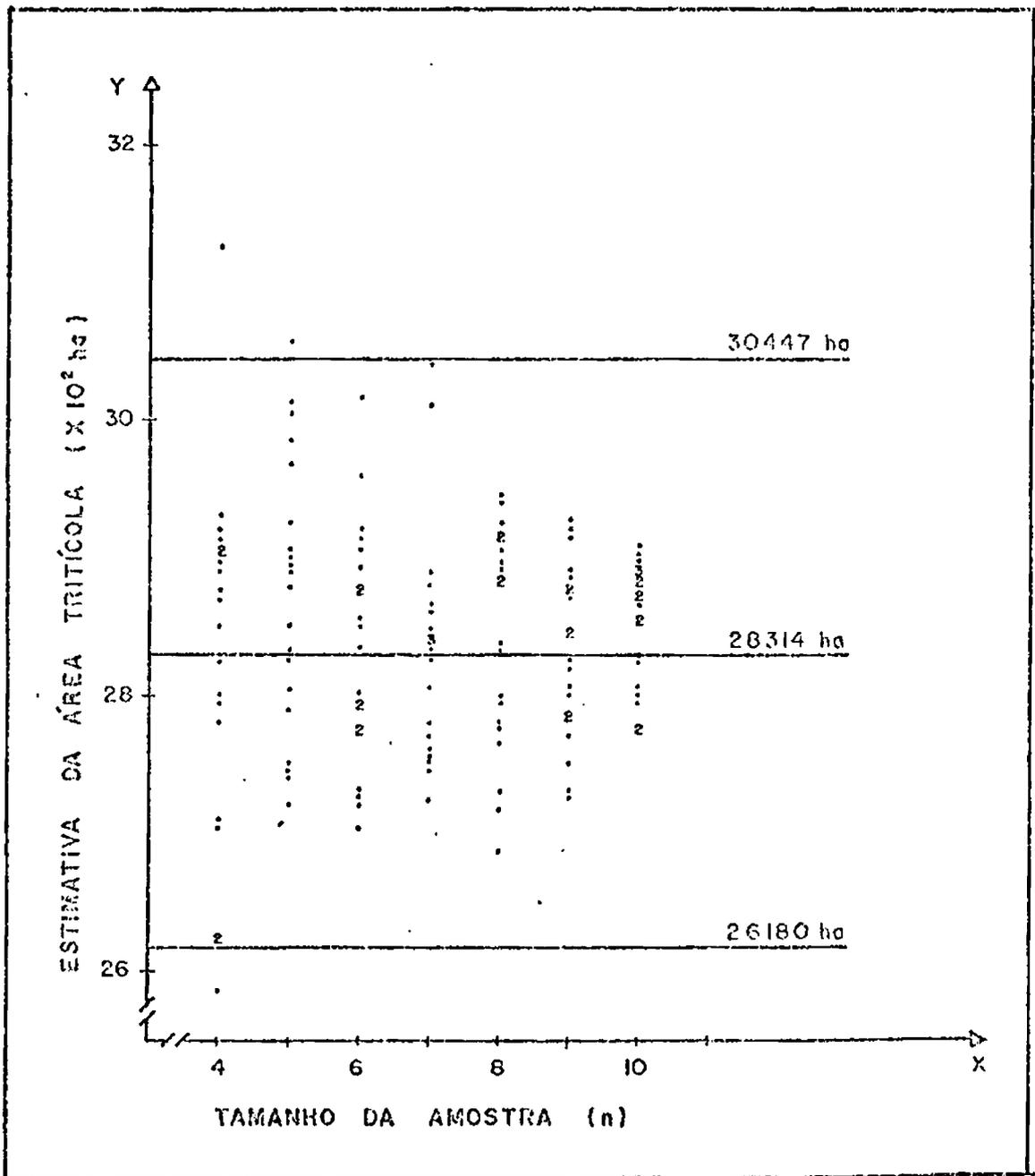


Fig. 4.9 - Estimativa da área tritícola, obtida através da estimativa pela regressão, usando segmentos de 40 km² e variando o tamanho da amostra.

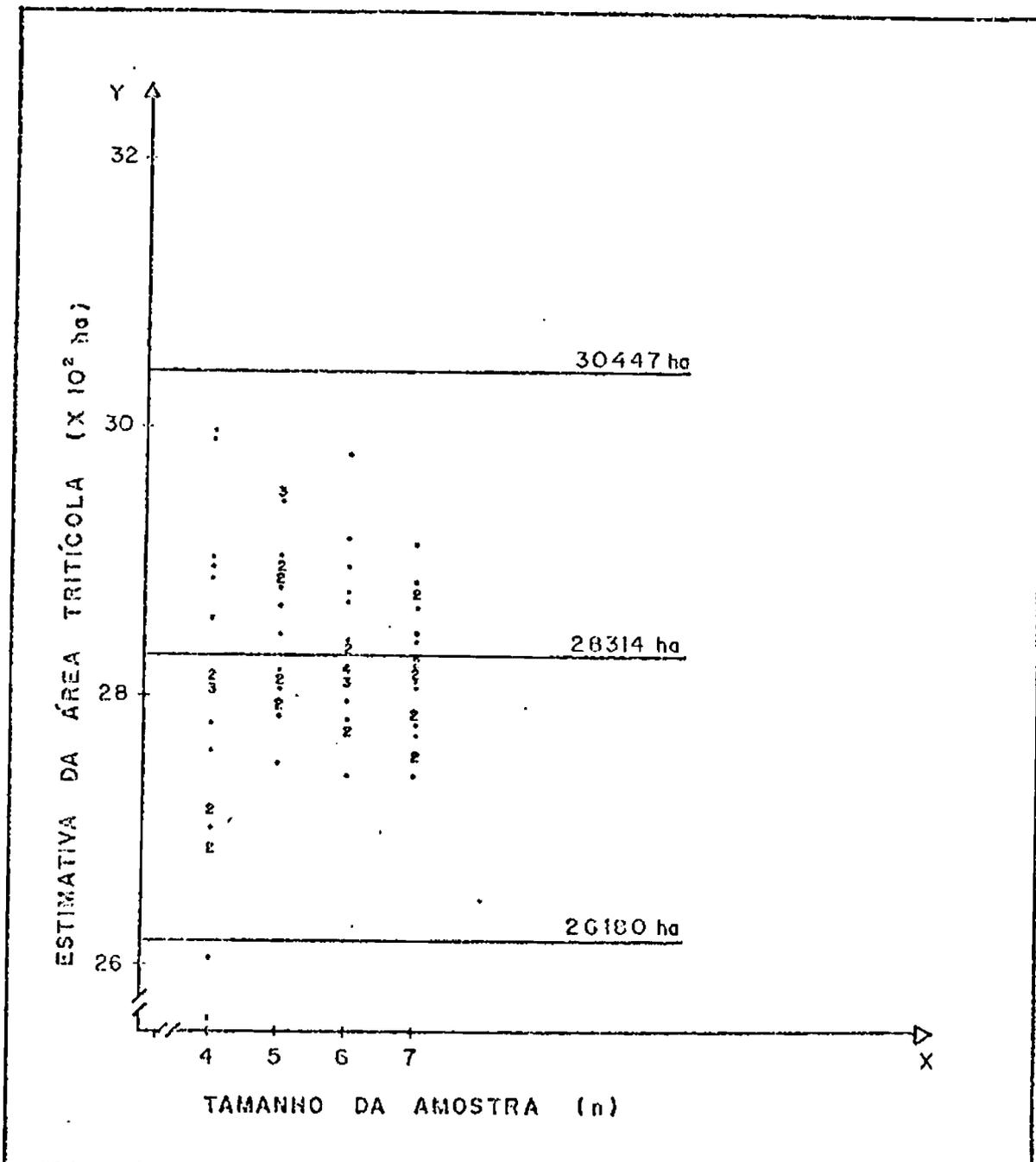


Fig. 4.10 - Estimativa da área tritícola, obtida através da estimativa pela regressão, usando segmentos de 60 km² e variando o tamanho da amostra.

TABELA 4.9

RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ESTIMATIVA PELA REGRESSÃO, PARA O SEGMENTO DE 10 km², USANDO AMOSTRAS COM 10 UNIDADES

| Nº DE REPETIÇÃO | ÁREA ESTIMADA \hat{Y}_R (ha) | DIFERENÇA RELATIVA | | VARIÂNCIA $V(\hat{Y}_R)$ | C.V. (%) |
|---------------------|--------------------------------|--------------------|-------|--------------------------|----------|
| | | (ha) | (%) | | |
| 1 | 28.706,75 | 392,75 | 1,39 | 943.101,31 | 3,4 |
| 2 | 28.963,22 | 649,22 | 2,29 | 360.948,87 | 2,1 |
| 3 | 27.808,36 | -505,64 | -1,78 | 311.541,23 | 2,0 |
| 4 | 29.259,53 | 945,53 | 3,34 | 437.509,15 | 2,3 |
| 5 | 28.316,01 | 2,01 | 0,01 | 1.013.768,71 | 3,5 |
| 6 | 27.384,65 | -929,35 | -3,28 | 800.655,31 | 3,3 |
| 7 | 29.082,70 | 768,70 | 2,71 | 566.055,18 | 2,6 |
| 8 | 29.483,67 | 1169,67 | 4,13 | 602.561,09 | 2,6 |
| 9 | 28.576,66 | 262,66 | 0,93 | 433.545,47 | 2,3 |
| 10 | 28.447,07 | 133,07 | 0,47 | 439.066,36 | 2,3 |
| 11 | 28.180,59 | -133,41 | -0,47 | 1.010.956,75 | 3,6 |
| 12 | 26.228,49 | -2085,51 | -7,36 | 1.174.274,80 | 4,1 |
| 13 | 29.542,21 | 1228,21 | 4,34 | 1.789.146,87 | 4,5 |
| 14 | 29.287,94 | 973,94 | 3,44 | 1.560.397,32 | 4,3 |
| 15 | 28.716,81 | 402,81 | 1,42 | 246.227,12 | 1,7 |
| 16 | 28.129,50 | 184,50 | -0,65 | 1.163.725,68 | 3,8 |
| 17 | 27.609,15 | -704,85 | -2,49 | 724.708,85 | 3,1 |
| 18 | 29.610,69 | 1296,69 | 4,58 | 649.077,00 | 2,7 |
| 19 | 28.272,21 | -41,79 | -0,15 | 1.024.127,30 | 3,6 |
| 20 | 28.515,89 | 201,89 | 0,71 | 1.044.772,71 | 3,6 |
| MÉDIA (\bar{X}) | 28.506,10 | 650,61 | 2,30 | - | 3,1 |
| VARIÂNCIA | 691.475,40 | - | - | - | - |
| C.V.(%) | 2,92 | - | - | - | - |
| TESTE T | - | 1,03n.s. | - | - | - |
| R.M.Q.E. (ha) | - | 832,95 | 2,29 | - | - |

TABELA 4.10

RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ESTIMATIVA PELA REGRESSÃO, PARA O SEGMENTO DE 20 km², USANDO AMOSTRAS COM 8 UNIDADES

| Nº REPETIÇÃO | ÁREA ESTIMADA \hat{Y}_R (ha) | DIFERENÇA RELATIVA | | VARIÂNCIA $V(\hat{Y}_R)$ | C.V. (%) |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | | (ha) | (%) | | |
| 1 | 28.875,41 | 561,41 | 1,98 | 398.747,86 | 2,2 |
| 2 | 29.826,20 | 1512,20 | 5,34 | 1.077.848,56 | 3,5 |
| 3 | 27.587,45 | -726,55 | -2,57 | 995.891,81 | 3,6 |
| 4 | 29.151,98 | 837,98 | 2,96 | 1.178.863,43 | 3,7 |
| 5 | 28.299,64 | -14,36 | -0,05 | 1.262.210,63 | 3,9 |
| 6 | 26.592,84 | -1721,16 | -6,07 | 576.031,77 | 2,8 |
| 7 | 29.453,62 | 1139,62 | 4,02 | 1.054.323,05 | 3,5 |
| 8 | 27.958,59 | -355,41 | -1,25 | 670.903,69 | 2,9 |
| 9 | 28.754,32 | 440,32 | 1,56 | 1.885.307,96 | 4,8 |
| 10 | 27.321,28 | -992,72 | -3,51 | 586.200,67 | 2,8 |
| 11 | 29.247,14 | 933,14 | 3,29 | 1.447.373,42 | 4,1 |
| 12 | 27.661,01 | -652,99 | -2,31 | 368.902,99 | 2,2 |
| 13 | 26.828,52 | -1485,48 | -5,25 | 570.928,69 | 2,8 |
| 14 | 28.214,15 | -99,85 | -0,35 | 532.665,56 | 2,6 |
| 15 | 27.010,99 | -1303,01 | -4,60 | 1.047.512,06 | 3,8 |
| 16 | 28.277,45 | -36,55 | -0,13 | 478.294,11 | 2,4 |
| 17 | 28.101,66 | -212,34 | -0,75 | 664.734,14 | 2,9 |
| 18 | 28.590,04 | 276,04 | 0,97 | 459.600,24 | 2,4 |
| 19 | 30.196,82 | 1882,82 | 6,65 | 868.416,72 | 3,1 |
| 20 | 28.086,46 | -227,54 | -0,80 | 484.065,75 | 2,5 |
| MEDIA (\bar{X}) | 28.301,78 | 770,37 | 2,70 | - | 3,1 |
| VARIÂNCIA | 964.579,34 | - | - | - | - |
| C.V. (%) | 3,47 | - | - | - | - |
| TESTE T | - | 0,06n.s. | - | - | - |
| R.M.Q.E. (ha)- | - | 957,34 | 3,40 | - | - |

TABELA 4.11

RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ESTIMATIVA PELA REGRESSÃO, PARA O SEGMENTO DE 30 km², USANDO AMOSTRAS COM 8 UNIDADES

| Nº DO REPETIÇÃO | ÁREA ESTIMADA \hat{Y}_R (ha) | DIFERENÇA RELATIVA | | VARIÂNCIA $V(\hat{Y}_R)$ | C.V. (%) |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | | (ha) | (%) | | |
| 1 | 28.080,35 | -233,65 | -0,83 | 238.538,20 | 1,7 |
| 2 | 27.268,18 | -1045,82 | -3,70 | 578.416,06 | 2,8 |
| 3 | 27.945,88 | -368,12 | -1,30 | 611.190,37 | 2,8 |
| 4 | 29.239,42 | 925,42 | 3,30 | 59.230,74 | 0,8 |
| 5 | 29.244,63 | 930,63 | 3,30 | 741.227,49 | 2,9 |
| 6 | 28.971,12 | 657,12 | 2,30 | 284.251,20 | 1,8 |
| 7 | 29.309,83 | 995,83 | 3,50 | 575.117,93 | 2,6 |
| 8 | 28.646,64 | 332,64 | 1,20 | 170.687,01 | 1,4 |
| 9 | 28.450,67 | 136,67 | 0,50 | 386.614,85 | 2,2 |
| 10 | 28.411,08 | 97,08 | 0,30 | 331.083,47 | 2,0 |
| 11 | 28.594,32 | 280,32 | 0,90 | 111.214,70 | 1,2 |
| 12 | 28.209,88 | -104,12 | -0,40 | 193.353,12 | 1,6 |
| 13 | 28.031,59 | -282,41 | -0,90 | 287.326,96 | 1,9 |
| 14 | 28.283,32 | -30,68 | -0,10 | 467.394,06 | 2,4 |
| 15 | 28.357,62 | 43,62 | 0,20 | 704.255,10 | 2,9 |
| 16 | 28.526,30 | 212,30 | 0,70 | 982.042,05 | 3,5 |
| 17 | 28.296,42 | -17,58 | -0,10 | 882.770,34 | 3,3 |
| 18 | 29.064,15 | 750,15 | 2,60 | 812.477,13 | 3,1 |
| 19 | 28.744,18 | 430,18 | 1,50 | 470.198,92 | 2,4 |
| 20 | 28.378,56 | 64,56 | 0,20 | 283.225,37 | 1,9 |
| MÉDIA (\bar{X}) | 28.502,71 | 396,94 | 1,40 | - | 2,3 |
| VARIÂNCIA | 241.248,65 | - | - | - | - |
| C.V. (%) | 1,72 | - | - | - | - |
| TESTE T | - | 1,67n.s. | - | - | - |
| R.M.Q.E. (ha) | - | 526,20 | 1,80 | - | - |

TABELA 4.12

RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ESTIMATIVA PELA REGRESSÃO, PARA O SEGMENTO DE 40 km², USANDO AMOSTRAS COM 6 UNIDADES

| Nº DE REPETIÇÃO | ÁREA ESTIMADA \hat{Y}_R (ha) | DIFERENÇA RELATIVA | | VARIÂNCIA $V(\hat{Y}_R)$ | C.V. (%) |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | | (ha) | (%) | | |
| 1 | 29.076,46 | 762,46 | 2,70 | 480.220,12 | 2,4 |
| 2 | 27.969,64 | -344,36 | -1,20 | 1.371.886,69 | 4,2 |
| 3 | 27.286,79 | -1027,21 | -3,60 | 365.045,15 | 2,2 |
| 4 | 27.327,88 | -986,12 | -3,50 | 705.299,44 | 3,1 |
| 5 | 29.593,39 | 1279,39 | 4,50 | 746.008,96 | 2,9 |
| 6 | 30.183,27 | 1869,27 | 6,60 | 627.255,41 | 2,6 |
| 7 | 29.217,57 | 903,57 | 3,20 | 218.033,03 | 1,6 |
| 8 | 28.781,29 | 467,29 | 1,60 | 303.271,27 | 1,9 |
| 9 | 28.925,98 | 611,98 | 2,20 | 1.041.660,17 | 3,5 |
| 10 | 28.763,43 | 449,43 | 1,60 | 1.033.297,65 | 3,5 |
| 11 | 28.549,43 | 235,43 | 0,80 | 353.526,31 | 2,1 |
| 12 | 28.524,07 | 210,07 | 0,70 | 649.903,19 | 2,8 |
| 13 | 27.035,87 | -1278,13 | -4,50 | 337.768,43 | 2,1 |
| 14 | 27.745,68 | -568,32 | -2,00 | 384.183,83 | 2,2 |
| 15 | 28.003,86 | -310,14 | -1,10 | 225.370,28 | 1,7 |
| 16 | 29.144,68 | 830,68 | 2,90 | 746.556,46 | 3,0 |
| 17 | 28.351,36 | 37,36 | 0,10 | 888.905,83 | 3,3 |
| 18 | 27.230,81 | -108,19 | -3,80 | 801.099,45 | 3,3 |
| 19 | 27.749,27 | -564,73 | -2,00 | 425.839,80 | 2,3 |
| 20 | 27.972,91 | -341,09 | -1,20 | 483.812,40 | 2,5 |
| MÉDIA (\bar{X}) | 28.371,68 | 708,01 | 2,50 | - | 2,7 |
| VARIÂNCIA | 692.781,15 | - | - | - | - |
| C.V. (%) | 2,90 | - | - | - | - |
| TESTE T | - | 0,30n.s. | - | - | - |
| R.M.Q.E. (ha) | - | 834,33 | 2,90 | - | - |

TABELA 4.13

RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ESTIMATIVA PELA REGRESSÃO, PARA O SEGMENTO
DE 60 km², USANDO AMOSTRAS COMO 5 UNIDADES

| Nº DE REPETIÇÃO | ÁREA ESTIMADA \bar{Y}_R (ha) | DIFERENÇA RELATIVA | | VARIÂNCIA $V(\bar{Y}_R)$ | C.V. (%) |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------|-------|-----------------------------|-------------|
| | | (ha) | (%) | | |
| 1 | 27.491,47 | -822,53 | -2,90 | 416.944,94 | 2,3 |
| 2 | 28.059,56 | -254,44 | -0,90 | 182.971,98 | 1,5 |
| 3 | 27.951,11 | -362,89 | -1,28 | 148.870,84 | 1,4 |
| 4 | 28.476,56 | 162,56 | 0,57 | 428.837,75 | 2,3 |
| 5 | 28.884,31 | 570,31 | 2,01 | 386.422,98 | 2,2 |
| 6 | 27.844,32 | -469,68 | -1,66 | 476.131,21 | 2,4 |
| 7 | 28.185,72 | -128,28 | -0,45 | 265.105,02 | 1,8 |
| 8 | 28.805,05 | 491,05 | 1,73 | 638.259,99 | 2,8 |
| 9 | 28.130,46 | -183,54 | -0,65 | 555.612,95 | 2,6 |
| 10 | 27.940,77 | -373,23 | -1,32 | 494.485,12 | 2,5 |
| 11 | 29.513,20 | 1199,20 | 4,23 | 449.490,08 | 2,4 |
| 12 | 29.486,98 | 1172,98 | 4,14 | 136.222,99 | 1,3 |
| 13 | 29.049,66 | 735,66 | 2,60 | 364.680,38 | 2,1 |
| 14 | 29.502,96 | 1188,96 | 4,20 | 560.852,44 | 2,6 |
| 15 | 28.101,75 | -212,25 | -0,75 | 226.563,62 | 1,7 |
| 16 | 28.852,36 | 538,36 | 1,90 | 36.545,64 | 0,7 |
| 17 | 28.968,82 | 654,82 | 2,31 | 223.694,97 | 1,7 |
| 18 | 29.513,20 | 1199,20 | 4,23 | 449.490,08 | 2,4 |
| 19 | 28.962,55 | 648,55 | 2,29 | 767.202,01 | 3,1 |
| 20 | 28.687,52 | 373,52 | 1,32 | 272.647,07 | 1,8 |
| MÉDIA (\bar{X}) | 28.620,41 | 587,10 | 2,07 | - | 2,1 |
| VARIÂNCIA | 396.246,42 | - | - | - | - |
| C.V. (%) | 2,20 | - | - | - | - |
| TESTE T | - | 2,18n.s. | - | - | - |
| R.M.Q.E. (ha) | - | 685,89 | 2,42 | - | - |

Para a análise do segundo critério (i.e., verificar se a média da população das diferenças relativas não diferiu estatisticamente de zero), aplicou-se o teste t, cujo resultado não revelou diferença significativa ao nível de 5% para as estimativas provenientes das amostras selecionadas dos segmentos de 10, 20, 30 e 40 km². Entretanto, as estimativas obtidas pelas amostras com 5 unidades usando o segmento de 60 km² não satisfizeram o critério proposto. Por esta razão, excluiu-se este tamanho de amostra, mesmo atendendo ao primeiro critério, e para análises posteriores, foram utilizados os resultados obtidos com a amostra de 6 unidades que satisfizeram aos critérios 1 e 2 (Tabela 4.14). Assim, a percentagem da área amostrada, usando este segmento, passou de 41,67% para 50%, e os menores tamanhos de amostras que satisfizeram os dois primeiros critérios foram compostos de 10, 8, 8,6 e 6 unidades para os segmentos de 10, 20, 30, 40 e 60 km², respectivamente.

Posteriormente, procurou-se verificar se esses tamanhos de amostras selecionadas forneceram estimativas tendenciosas (terceiro critério). Sobre este aspecto, procurou-se comparar, através dos testes do sinal ($\alpha = 0,05$), as estimativas da área tritícola obtidas através de cada amostra com o parâmetro populacional (28.314 ha). Os resultados do teste mostraram que nenhum dos tamanhos de amostras selecionados forneceram estimativas tendenciosas.

Por outro lado, nota-se pelas Tabelas 4.9 a 4.14 que as 20 estimativas das áreas ocupadas com trigo, obtidas através da estimativa pela regressão para cada amostra selecionada, foram bastante consistentes, o que foi demonstrado pelos baixos valores dos coeficientes de variação, entre 1,72 e 3,47%.

Verificando ainda, pelas Tabelas 4.9 a 4.14, as colunas que constituem os valores dos Coeficientes de Variação (CV), nota-se que nenhum tamanho de amostra selecionado forneceu uma estimativa de área com CV maior que 5%, o que satisfez plenamente o quarto critério adotado.

TABELA 4.14

RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ESTIMATIVA PELA REGRESSÃO, PARA O SEGMENTO DE 60 km²; USANDO AMOSTRAS COM 6 UNIDADES

| Nº DE REPETIÇÃO | ÁREA ESTIMADA \hat{Y}_R (ha) | DIFERENÇA RELATIVA | | VARIÂNCIA $V(\hat{Y}_R)$ | C.V. (%) |
|---------------------|--------------------------------|--------------------|-------|--------------------------|----------|
| | | (ha) | (%) | | |
| 1 | 28.174,66 | -139,34 | -0,49 | 395.912,74 | 2,2 |
| 2 | 28.106,89 | -207,11 | -0,73 | 316.724,47 | 2,0 |
| 3 | 28.099,82 | -214,18 | -0,76 | 447.380,92 | 2,4 |
| 4 | 28.145,60 | -168,40 | -0,59 | 493.006,01 | 2,5 |
| 5 | 29.176,99 | 862,99 | 3,05 | 433.906,74 | 2,3 |
| 6 | 28.189,50 | -124,50 | -0,44 | 392.504,32 | 2,2 |
| 7 | 28.339,71 | 25,71 | 0,09 | 222.778,53 | 1,7 |
| 8 | 29.791,36 | 1477,36 | 5,20 | 186.740,28 | 1,5 |
| 9 | 27.423,56 | -890,44 | -3,14 | 236.185,81 | 1,8 |
| 10 | 28.795,41 | 481,41 | 1,70 | 135.551,82 | 1,3 |
| 11 | 27.979,57 | -334,43 | -1,18 | 170.816,86 | 1,5 |
| 12 | 28.348,21 | 34,21 | 0,12 | 463.722,13 | 2,4 |
| 13 | 28.709,03 | 395,03 | 1,39 | 263.567,67 | 1,8 |
| 14 | 27.757,06 | -556,94 | -1,97 | 295.180,93 | 1,9 |
| 15 | 28.959,47 | 645,47 | 2,28 | 446.676,83 | 2,3 |
| 16 | 28.391,63 | 77,63 | 2,74 | 199.017,92 | 1,6 |
| 17 | 27.789,84 | -524,16 | -1,85 | 207.530,44 | 1,6 |
| 18 | 28.130,67 | -183,33 | -0,65 | 121.222,82 | 1,2 |
| 19 | 27.810,09 | -503,91 | -1,78 | 458.580,67 | 2,4 |
| 20 | 28.141,33 | -172,67 | -0,61 | 138.704,89 | 1,3 |
| MÉDIA (\bar{X}) | 28.313,02 | 400,96 | 1,40 | - | 1,9 |
| VARIÂNCIA | 284.932,95 | - | - | - | - |
| C.V. (%) | 1,88 | - | - | - | - |
| TESTE T | - | 0,01n.s. | - | - | - |
| R.M.Q.E. (ha) | - | 533,79 | 1,90 | - | - |

O sumário dos resultados obtidos para os cinco planos testados estão contidos na Tabela 4.15.

TABELA 4.15

SUMÁRIO DOS RESULTADOS ALCANÇADOS PARA OS 5 PLANOS AMOSTRAIS TESTADOS

| SISTEMA DE AMOSTRAGEM | | | MÉDIA (ha) | DESVIO PADRÃO (ha) | COEFICIENTE DE VARIACÃO (%) | DIFERENÇA DE 28.314 (ha) | | R.M.Q.E (ha) |
|--|-------------------------------------|---------------------------------|---------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|----------------|-----------------|
| TAMANHO DO SEGMENTO (km ²) | Nº DE UNIDADE POR AMOSTRA (n) | PERCENTAGEM AMOSTRADA (%) | | | | MÉDIA (%) | MÁXIMA (ha) | |
| 10 | 10 | 13,90 | 28.506,10 | 262,59 | 2,92 | 2,30 | -2085,51 | 832,95 |
| 20 | 8 | 22,22 | 28.301,78 | 982,13 | 3,47 | 2,70 | 1882,82 | 957,34 |
| 30 | 8 | 33,33 | 28.502,71 | 491,17 | 1,72 | 1,40 | -1045,82 | 526,20 |
| 40 | 6 | 33,33 | 28.371,68 | 833,33 | 2,90 | 2,50 | 1869,27 | 834,33 |
| 60 | 6 | 50,00 | 28.313,02 | 533,79 | 1,88 | 1,40 | 1477,36 | 533,79 |

De um modo geral, a utilização dos esquemas amostrais selecionados forneceram estimativas exatas e precisas. Isto pode ser observado pelos baixos valores das médias das diferenças relativas, ou da Raiz Média Quadrática dos Erros (R.M.R.E.), e pelos baixos coeficiente de variação obtidos das 20 estimativas das áreas tritícolas para cada amostra selecionada.

Da análise da seleção do tamanho do segmento e da de terminação do número de unidades por amostra, para os cinco planos amostrais testados, o melhor desempenho alcançado pela utilização do método de estimativa pela regressão foi obtido com o uso do segmento de 10 km², pois, além de ter fornecido a estimativa da área ocupada com trigo tão precisa e exata quanto aos demais tamanhos de segmentos tais estimativas foram obtidas com a menor percentagem de área amostrada, 13,90%.

Entre os menores tamanhos de amostras determinados para os cinco planos amostrais estudados, selecionou-se como melhor sis

tema a amostra composta de 10 unidades com tamanho de segmentos de 10 km².

Para verificar o desempenho do método de estimativa pela regressão, procurou-se comparar os resultados obtidos por este método com aqueles obtidos pelo método de expansão direta, usando as mesmas unidades amostrais. Na Tabela 4.16 estão contidos os dados comparativos dos métodos de estimativa pela regressão e de expansão direta.

Conforme pode ser observado pelos resultados contidos na Tabela 4.16, o método de estimativa pela regressão mostrou-se substancialmente mais eficiente quando comparado ao método de expansão direta. Isto é demonstrado pela grandeza da eficiência relativa que variou de 5,75 a 54,75. Em outras palavras, pode-se dizer que quando se utilizou dados auxiliares do MSS do LANDSAT para estimar a área da cultura do trigo, através da estimativa pela regressão, o ganho em precisão foi no mínimo de 5,75 até 54,75 vezes maior do que aquele obtido pela expansão direta (utilizando somente fotografias aéreas). A causa de variação da Eficiência Relativa (ER) está fortemente ligada ao valor do coeficiente de determinação (r^2) estimado para cada amostra, ou seja, quanto maior o r^2 estimado, menor a variância estimada pelo método de regressão e, conseqüentemente, maior o valor da ER (Figura 4.11).

Por outro lado, as estimativas obtidas pela regressão também foram mais exatas, o que é demonstrado pela variação das estimativas das áreas tritícolas em ambos os métodos. Enquanto as estimativas das áreas tritícolas obtidas pela regressão variaram de 26.228,49 a 29.610 ha, estas mesmas estimativas obtidas pela expansão direta variaram de 19.370,74 a 35.513,21 ha.

TABELA 4.16

RESULTADOS COMPARATIVOS DAS ESTIMATIVAS DAS ÁREAS DE TRIGO, OBTIDAS PELOS
MÉTODOS DE ESTIMATIVAS PELA REGRESSÃO E DE EXPANSÃO DIRETA

| REPETIÇÃO | ESTIMATIVA PELA REGRESSÃO | | EXPANSÃO DIRETA | | EFICIÊNCIA RELATIVA (ER) |
|-----------|---------------------------|----------------|---------------------|-------------------|-----------------------------|
| | \hat{Y}_R (ha) | $V(\hat{Y}_R)$ | \hat{Y}_{ED} (ha) | $V(\hat{Y}_{ED})$ | |
| 1 | 28.705,75 | 943.101,31 | 28.946,52 | 12.904.191,00 | 13,68 |
| 2 | 28.963,22 | 360.948,27 | 33.643,19 | 4.919.018,99 | 13,63 |
| 3 | 27.603,36 | 311.541,23 | 24.407,93 | 17.059.428,96 | 54,75 |
| 4 | 29.259,53 | 437.509,15 | 33.109,49 | 9.607.997,74 | 22,42 |
| 5 | 28.516,01 | 1.013.768,71 | 27.779,83 | 12.874.165,09 | 12,69 |
| 6 | 27.394,65 | 800.656,31 | 30.131,42 | 12.123.997,82 | 15,14 |
| 7 | 29.022,70 | 566.055,18 | 30.497,47 | 10.130.639,71 | 17,89 |
| 8 | 29.483,67 | 602.561,09 | 35.513,21 | 5.246.531,76 | 8,71 |
| 9 | 28.576,66 | 433.545,47 | 26.240,83 | 10.491.061,01 | 24,19 |
| 10 | 28.447,07 | 439.066,36 | 25.968,82 | 13.198.144,85 | 30,05 |
| 11 | 28.180,59 | 1.010.956,75 | 32.910,91 | 16.708.312,54 | 16,53 |
| 12 | 26.228,49 | 1.174.274,80 | 22.045,18 | 7.650.574,42 | 6,68 |
| 13 | 29.542,21 | 1.789.146,87 | 33.382,01 | 10.422.605,23 | 5,82 |
| 14 | 29.237,94 | 1.560.397,32 | 28.273,46 | 8.969.800,35 | 5,75 |
| 15 | 28.716,81 | 246.227,12 | 24.835,82 | 12.458.162,29 | 50,59 |
| 16 | 28.129,50 | 1.163.725,68 | 31.657,46 | 11.572.221,63 | 9,94 |
| 17 | 27.609,15 | 724.708,85 | 19.370,74 | 11.302.107,97 | 15,59 |
| 18 | 29.610,69 | 649.077,00 | 27.626,47 | 9.951.665,25 | 15,33 |
| 19 | 28.272,21 | 1.024.127,30 | 27.490,19 | 14.597.391,10 | 14,25 |
| 20 | 20.515,89 | 1.044.772,71 | 30.812,68 | 23.269.900,02 | 22,27 |

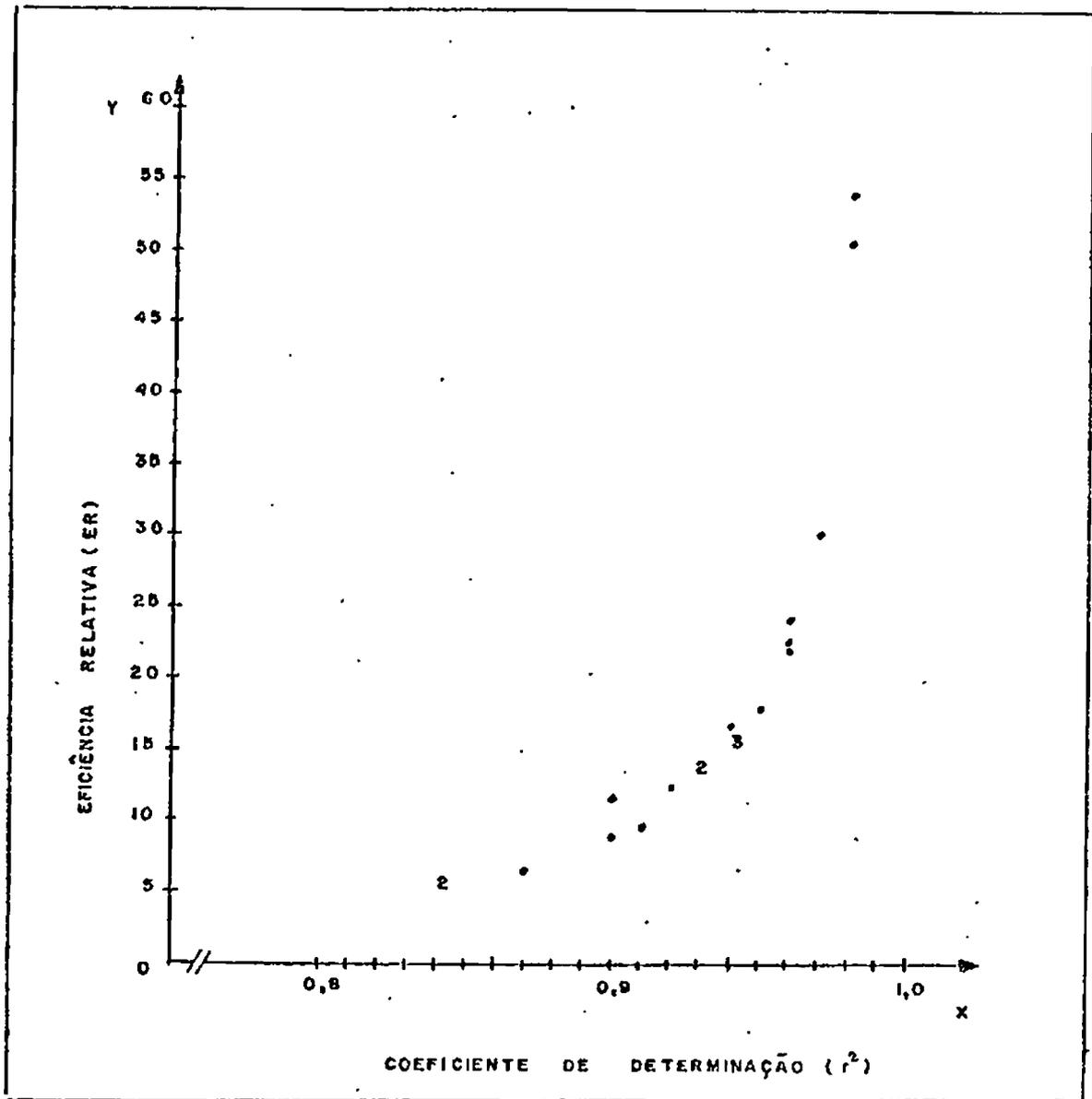


Fig. 4.11 - Gráfico que mostra o acréscimo da eficiência relativa com o aumento do coeficiente de determinação.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os resultados desta pesquisa, em que foram utilizados dados do MSS do LANDSAT como variável auxiliar para estimar a área ocupada com trigo, chegou-se às seguintes conclusões:

- 1) O método de estimativa pela regressão foi selecionado em consequência de dois fatores: a) boa correlação entre os dados obtidos de aeronave e dados do MSS do LANDSAT; e b) a interseção da reta que representou a relação entre estes dados deu-se em ponto diferente da origem (0,0);
- 2) Para obter desempenho de estimativas semelhantes, a medida que se diminuiu o tamanho do segmento, a percentagem da área amostrada também diminuiu;
- 3) A menor percentagem de área amostrada que estimou a área de trigo com boa precisão e exatidão, através da estimativa pela regressão, foi de 13,90%, utilizando-se como unidade amostral o segmento de 10 km² com 10 unidades por amostra. Com isto, houve uma economia de tempo e custo despendidos em cerca de 86% durante a fase de fotointerpretação dos dados da aeronave;
- 4) Com a utilização deste sistema amostral, pôde-se obter estimativas por intervalo, o que é estatisticamente mais recomendável do que a estimativa por ponto. Além deste fator positivo, este sistema amostral forneceu estimativas com exatidão $\geq 92,47\%$ e com coeficiente de variação das referidas estimativas menor que 5%.
- 5) A área tritícola pode ser obtida através de sistema de amostragem sem utilizar dados do MSS do LANDSAT como variável auxiliar, isto é, através da expansão direta (somente dados de aeronave) as estimativas foram menos exatas e precisas quando comparadas àquelas obtidas através dos métodos de estimativa pela regressão

- 6) No presente estudo, as áreas obtidas pela classificação digital, usando dados do MSS do LANDSAT, foram superestimadas para a maioria dos segmentos e altamente correlacionadas com as mesmas áreas obtidas através da interpretação visual de fotografias aéreas, independentes do tamanho do segmento e do sentido considerado, porém, em alguns segmentos ocorreu uma subestimativa. Os temas que mais se confundiram com o trigo foram mata e pastagem.

Dada a experiência adquirida durante este trabalho, recomenda-se:

- 1) para grandes áreas onde as condições de relevo, tipos de solo, clima, época de plantio, etc. são heterogêneas, que se faça uma estratificação da área de interesse em subáreas homogêneas (estratos) e para cada estrato seja aplicada a estimativa pela regressão, onde a área total será obtida pela agregação da área de cada estrato. Desta forma, pode-se obter melhor precisão da estimativa de área com o mesmo número de unidades amostradas para estimar a área sem a estratificação;
- 2) com relação ao uso de fotografias aéreas, que se teste uma alternativa para substituição de fotos aéreas adquiridas no ano agrícola da cultura de interesse, por coleta de informações diretamente no campo, com base em fotos aéreas de anos anteriores, visando com isto baixar o custo da aquisição dos dados terrestres.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, T.C.; CARNÉCHIO FILHO, V.C. *Principais culturas*. Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, Campinas, 1973.
- BAUER, M.E. Technological basis and applications of remote sensing of earth's resources. *IEEE. Transaction on geoscience electronics*, 14 (1): 3-9, Jan. 1976.
- ; CIPRA, J.E. Identification of agricultural crops by computer processing of ERTS MSS data. In: SIMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM THE EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1, 3., Washington, DC, 1973. *Proceedings*. Washington, DC, NASA, 1973, v.1, Sec. A, p. 205-212.
- , CIPRA, J.E.; ANUTA, P.E.; ETHERIDGE, J.B. Identification and area estimation of agricultural crops by computer classification of LANDSAT data. *Remote sensing of environment*, 8 (1): 77-92, Fev. 1979.
- ; HIXON, M.M.; DAVIS, B.J.; ETHERIDGE, J.B. Crop identification and area estimation by computer-aided analysis of LANDSAT data. In: ANNUAL SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 4., West Lafayette, IN, 1977. *Proceedings*. West Lafayette, IN, D.B Morrison and D.J.Scherer, 1977, p. 102-112.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuária. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul. *Boletim técnico da Divisão de Pesquisas Pedológicas*, (30) 1973, 431p.
- . *Aptidão agrícola das terras do Rio Grande do Sul*. Brasília, DF, 1978. (Série: Estudos básicos para o planejamento 1).
- CHEN, S.C.; MOREIRA, M.A.; LIMA, A.M.de *Comparison of wheat classification accuracy using different classifiers of the IMAGE-100 system*. São José dos Campos, INPE, Jun. 1981 (INPE-2125-RPE/349).

- COCHRAN, W.C. *Técnicas de amostragem*. Rio de Janeiro, Fundo de Cultura, 1965.
- DIETRICH, D.L.; FRIES, R.F.; EGBERT, D.D. Agricultural inventory capabilities of machine processed LANDSAT digital data. In: NASA *Earth Resources Survey Symposium*; proceedings of a symposium held Houston, Tx, June 9-12, 1975. Washington, DC, NASA, 1975, v.1, Sec. A, p. 221-232.
- DUTRA, L.V. *Desenvolvimento de alguns métodos de pós-processamento aplicados a imagens digitais multiespectrais. (Técnicas de Uniformização de Temas)*. São José dos Campos, INPE. (no prelo).
- EVERITT, J.H.; RICHARDS, A.J.; GERBERMAN, A.H.; WIEGAND, C.L.; ALANIZ, M.A. LANDSAT-2 data for inventorying rangelands in South Texas. In: ANNUAL SYMPOSIUM MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 5., West Lafayette, IN. *proceedings* West Lafayette, IN, Purdue University 1979, p. 132-140.
- ECONOMY, R.; GOODNOUGH, D.; RYERSON, R.; TOWLES, R. Classification accuracy of the IMAGE-100. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 2., Guelph, ON, 1974. *Proceedings*. Ottawa, ON, Canadian Remote Sensing Society, v. 2, p. 277-287.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Produção agrícola municipal*. Rio de Janeiro, IBGE, v.6, t. 6, 1979, 402 p.
- GENERAL ELECTRIC COMPANY. *Imagem-100 - Interactive multiespectral image analysis system*. Daytona, 1975.
- GRAIG, M.E.; SIGMAN, R.S.; CARDENAS, M. Area estimates by LANDSAT: Kansas 1976. Winter wheat. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 13., Ann Arbor, MI, 1979. *Proceedings*. Ann Arbor, ERIM, 1979, v.3, p. 1727-1736.

- HALL, F.J.; BAUER, M.E.; MALILA, W.A. *First results from crop identification technology assessment for remote sensing (CITARS)*. West Lafayette, IN, Purdue University, 1974. (LARS information note 041874).
- HANUSCHAK, G.A.; SIGMAN, R.; GRAIG, M.E.; OZGH, M.; LUEBBE, R.G.; COOK, P.W.; KLEWEND, D.D.; MILLER, C.E. Crop-area estimates from LANDSAT; transition from research and development to timely results, In: ANNUAL SYMPOSIUM MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 5., West Lafayette, IN, 1979. *Proceedings*. W. Lafayette, IN, Purdue Univ. 1979, p. 86-96.
- HATFIELD, J.L. Spectral behavior of wheat yield variety trials. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47 (9): 1487-1491. Sept. 1981.
- HAY, C.M. Agricultural inventory techniques with orbital and high-altitude imagery. *Photogrammetric Engineering*, 40 (13): 1283-1293, Nov. 1974.
- HIXSON, M.M.; SCHOLZ, D.; FUHS, N. Evaluation of several schemes for classification of remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 46 (12): 1629-1638, Dec. 1980.
- ; DAVIS, B.J.; BAUER, M.E. Sampling LANDSAT classification for crop area estimation, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47 (9): 1343-1348, Sept. 1981.
- HOEL, P.G. *Introduction to mathematical statistics*, 3. ed. New York, John Wiley. 1966. 427 p.
- HLAVKA, C.A.; HARALICK, R.M.; CARLYLE, S.M.; YOKOYAMA, R. The discrimination of winter wheat using a growth-state signature. *Remote Sensing of Environment*, 9 (4): 277-294, June 1980.
- HOFFER, R.M. ADP of multispectral scanner data for land use mapping. *The Laboratory for Application of Remote Sensing*, West Lafayette, IN, Purdue University, 1973. 27 p. (information note).

- . Computer-aided analysis techniques for mapping earth surface features. *Remote Sensing Application in Agriculture and Hydrology*. Rotterdam, A.A. Balkema, 1977, p. 133-152.
- JOHNSON, C.W.; COLEMAN, V.B. Semi-automatic crop inventory from segmental ERTS-1 imagery. In: SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM THE EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1, 3., Washington, DC, 1973. *Proceedings*. Washington, DC, NASA, 1973. v. 1-A, p. 19-25.
- LIMA, A.M.de; CHEN, S.C.; MOREIRA, M.A. Avaliação de dois métodos de aquisição de estatísticas de treinamento para classificação automática. *Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2.*, Brasília, 10-14 maio, 1982.
- MACDONALD, R.B.; HALL, F.G. LACIE: An experiment in global crop forecasting. *The LACIE Symposium*, Houston, Tx, Oct. 23-26, 1978, 32p.
- MENDONÇA, F.J.; COTTRELL, D.A.; TARDIN, A.T.; LEE, D.C.L.; SHIMABUKURO, Y.E.; MOREIRA, M.A.; LIMA, A.M.de; MAIA, F.C.S. *Cultura do trigo. Identificação e avaliação de áreas através de dados do LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2054-RPE/300).
- MOREIRA, M.A.; CHEN, S.C.; LIMA, A.M.de. Estudos do Método Uniformização de Temas (UNITOT) e análise da correlação entre áreas estimadas utilizando dados do LANDSAT e fotografias aéreas. *Simpósio de Sensoriamento Remoto, 2.*, Brasília, 10-14 maio, 1982.
- MOURA, P.A.M.de; PIRES, E.T.; LIMA, M.L.P. Considerações econômicas e estatísticas sobre o trigo. *Informe Agropecuária (EPAMIG)*, 5 (50): 3-8, fev. 1979.
- NALEPKA, R.F.; COLWELL, J.E.; RICE, D.P. *Forecast of winter wheat yield and production using LANDSAT data; Final report*. University of Michigan, ERIM, 1977. *apud* HLAVKA et alii (1980).

- PARSONS, A.J.; FITZPATRICK, E.A. Determination of wheat acreages from LANDSAT imagery in the Narrabri District of New South Wales, Australia, In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 12., Ann Arbor, MI, ERIM, 1978, v.3, Sec. E, p. 1849-1857.
- RAY, R.M; HUDDLESTON, H.F. Illinois crop-acreage estimation experiment. In: SYMPOSIUM ON MACHINE OF REMOTELY SENSED DATA, 3., Washington, DC, 1976. *Proceedings*. West Lafayette, IN, Purdue University, 1976.
- SAFIR, G.R.; MYERS, W.L.; MALILA, W.A.; MORGENSTERN, J.P. Applications of ERTS-1 data to analysis of agricultural crops and forest. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1, 3., Washington, DC, 1973. *Proceedings*. Washington, DC, NASA, v.1, Sec. A, p. 173-180.
- SCHATTAN, S. Uso da fotografia aérea como sistema de referência na amostragem para a previsão de safras. *Boletim Técnico do Instituto de Economia Agrícola*, 15 (7/8): 51-61, jul/ago, 1968.
- SIGMAN, R.; GLEASON, C.P.; HANUSCHAK, G.A.; STARBUCK, R.R. Stratified acreage estimates in the Illinois crop-acreage experiment, In: ANNUAL SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 4., West Lafayette, IN, 1977. *Proceedings*. West Lafayette, IN, D.B. Morrison and D.J. Scherer, 1977, p. 80-89.
- THOMAS, R.W.; HAY, C.M. Two phase sampling for wheat acreage estimation In: ANNUAL SYMPOSIUM ON MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA, 4., West Lafayette, IN, 1977. *Proceedings*. West Lafayette, IN, D.B. Morrison and D.J. Scherer, 1977, p. 91-100.
- VELASCO, F.R.D.; PRADO, L.O.C.; SOUZA, R.C.M. *Sistema MAXVER: manual do usuário*. São José dos Campos, INPE, jul. 1978. (INPE-1315-NTI/110).
- WHARTON, S.W.; TURNER, B.J. ICAP. An interactive analysis procedure for analyzing remote sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 11 (4): 279-293, 1981.

WIGTON, W.H.; STEEN, D.H.V. Crops identification and acreage measurement using ERTS imagery. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Washington, DC, 1973. *Proceedings*. Washington, DC, NASA, 1973, v.1, Sec. A, p. 87-92.

WIGTON, W.; BORMANN, P. A guide to area sampling frame construction utilizing satellite imagery. *International Training Course in Remote Sensing Applications for Agricultural; Crop Statistics and Agricultural Census*, 2., Rome, 25 April - 13 May 1977.

APÊNDICE A

DADOS UTILIZADOS NO CÁLCULO DAS ÁREAS TRITÍCOLAS (FOTO AÉREA E LANDSAT)
PARA OS SEGMENTOS DE 10, 20, 30, 40 e 60 km²

TABELA A.1

DADOS UTILIZADOS NO CÁLCULO DAS ÁREAS TRITÍCOLAS (FOTO AÉREA E LANDSAT)
PARA OS SEGMENTOS DE 10km².

| N.º DO SEGMENTO | DENSIDADE DE CULTURA (%) | DE (DC) | ÁREA (ha) | | |
|--------------------|--------------------------------|------------|-------------------------------------|--|--|
| | | | CLASSIFICADA CORRETAMENTE (1) | DE NÃO-TRIGO CLASSIF. COMO TRIGO (2) | DE TRIGO NÃO CLASSIF. COMO TRIGO (3) |
| 1 | 44,25 | | 393,26 | 158,24 | 77,63 |
| 2 | 43,63 | | 397,15 | 171,38 | 67,18 |
| 3 | 46,78 | | 428,50 | 150,78 | 69,27 |
| 4 | 42,57 | | 358,31 | 132,86 | 94,66 |
| 5 | 60,61 | | 584,97 | 88,67 | 60,01 |
| 6 | 30,59 | | 292,59 | 110,17 | 32,84 |
| 7 | 53,85 | | 504,05 | 132,86 | 68,97 |
| 8 | 52,59 | | 511,82 | 166,00 | 47,77 |
| 9 | 39,42 | | 340,12 | 180,04 | 79,42 |
| 10 | 43,80 | | 417,16 | 176,75 | 48,96 |
| 11 | 55,50 | | 546,15 | 100,92 | 44,49 |
| 12 | 29,94 | | 249,63 | 79,72 | 68,97 |
| 13 | 64,48 | | 616,92 | 74,04 | 72,25 |
| 14 | 28,56 | | 267,55 | 119,43 | 38,22 |
| 15 | 63,67 | | 606,17 | 105,09 | 71,36 |
| 16 | 48,26 | | 438,36 | 149,28 | 75,24 |
| 17 | 56,06 | | 536,29 | 123,31 | 60,31 |
| 18 | 39,23 | | 379,22 | 69,27 | 38,22 |
| 19 | 17,17 | | 174,99 | 95,94 | 7,76 |
| 20 | 9,97 | | 93,17 | 112,86 | 10,15 |
| 21 | 26,38 | | 219,48 | 81,21 | 61,21 |
| 22 | 25,00 | | 243,66 | 109,28 | 22,39 |
| 23 | 29,24 | | 269,05 | 72,25 | 42,09 |
| 24 | 37,26 | | 363,41 | 145,70 | 31,17 |

(continua)

Tabela A.1 - Continuação

| Nº SEGMENTO | DENSIDADE DE CULTURA (DC) (%) | ÁREA (ha) | | |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | | CLASSIFICADA CORRETAMENTE (1) | DE NÃO-TRIGO CLASSIF. COMO TRIGO (2) | DE TRIGO NÃO CLASSIF. COMO TRIGO (3) |
| 25 | 41,17 | 406,99 | 31,65 | 42,39 |
| 26 | 19,72 | 171,11 | 25,67 | 38,81 |
| 27 | 28,25 | 258,29 | 92,56 | 42,40 |
| 28 | 45,68 | 432,38 | 83,30 | 53,74 |
| 29 | 15,40 | 151,99 | 28,96 | 11,94 |
| 30 | 36,08 | 355,04 | 54,64 | 28,96 |
| 31 | 26,88 | 245,07 | 60,10 | 40,99 |
| 32 | 63,59 | 631,74 | 40,14 | 44,92 |
| 33 | 40,04 | 349,37 | 26,57 | 76,73 |
| 34 | 18,60 | 161,85 | 32,84 | 36,13 |
| 35 | 24,66 | 186,22 | 11,05 | 77,03 |
| 36 | 0,64 | 3,29 | 18,21 | 3,58 |
| 37 | 40,94 | 380,15 | 80,29 | 55,50 |
| 38 | 43,32 | 426,11 | 36,72 | 34,03 |
| 39 | 53,62 | 546,29 | 60,47 | 24,33 |
| 40 | 45,72 | 402,82 | 123,01 | 83,60 |
| 41 | 53,42 | 538,38 | 65,98 | 30,16 |
| 42 | 37,29 | 350,27 | 44,78 | 46,58 |
| 43 | 61,11 | 585,74 | 130,30 | 64,61 |
| 44 | 60,52 | 596,31 | 37,92 | 47,77 |
| 45 | 51,83 | 514,79 | 60,01 | 36,72 |
| 46 | 45,79 | 428,80 | 49,86 | 58,52 |
| 47 | 37,85 | 369,68 | 100,02 | 33,14 |
| 48 | 31,54 | 246,19 | 40,17 | 89,44 |
| 49 | 46,86 | 472,40 | 166,90 | 26,26 |
| 50 | 32,02 | 289,65 | 78,82 | 51,05 |
| 51 | 43,89 | 401,33 | 65,98 | 65,68 |
| 52 | 18,80 | 149,31 | 59,41 | 50,75 |

(continua)

Tabela A.1 - Conclusão

| Nº DO SEGMENTO | DENSIDADE DE CULTURA (DC) (%) | ÁREA (ha) | | |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | | CLASSIFICADA CORRETAMENTE (1) | DE NÃO-TRIGO CLASSIF. COMO TRIGO (2) | DE TRIGO NÃO CLASSIF. COMO TRIGO (3) |
| 53 | 52,02 | 413,87 | 30,45 | 139,73 |
| 54 | 42,56 | 320,62 | 95,63 | 132,36 |
| 55 | 50,96 | 494,94 | 70,52 | 47,32 |
| 56 | 40,09 | 391,18 | 87,18 | 35,53 |
| 57 | 22,17 | 192,01 | 70,31 | 43,88 |
| 58 | 11,31 | 84,81 | 68,37 | 35,53 |
| 59 | 22,48 | 183,49 | 30,31 | 55,69 |
| 60 | 31,76 | 227,54 | 66,58 | 110,47 |
| 61 | 53,62 | 522,25 | 65,39 | 48,37 |
| 62 | 51,77 | 464,04 | 89,27 | 86,88 |
| 63 | 41,47 | 384,01 | 59,41 | 57,32 |
| 64 | 34,32 | 320,11 | 72,85 | 45,08 |
| 65 | 6,17 | 54,05 | 39,41 | 11,64 |
| 66 | 45,79 | 406,70 | 75,84 | 80,62 |
| 67 | 25,23 | 241,28 | 40,90 | 27,16 |
| 68 | 3,28 | 30,46 | 18,21 | 4,48 |
| 69 | 26,18 | 210,81 | 49,86 | 67,77 |
| 70 | 18,26 | 157,67 | 55,23 | 36,72 |
| 71 | 1,93 | 14,93 | 29,26 | 5,67 |
| 72 | 25,65 | 246,95 | 56,13 | 26,02 |

TABELA A.2

DADOS UTILIZADOS NO CÁLCULO DAS ÁREAS TRITÍCOLAS (FOTO AÉREA E LANDSAT)
PARA OS SEGMENTOS DE 20km².

| N.º DO SEGMENTO | DENSIDADE DE CULTURA (DC) (%) | ÁREA (ha) | | |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | | CLASSIFICADA CORRETAMENTE (1) | DE NÃO-TRIGO CLASSIF. COMO TRIGO (2) | DE TRIGO NÃO CLASSIF. COMO TRIGO (3) |
| 1 | 43,94 | 790,43 | 329,62 | 144,81 |
| 2 | 44,67 | 792,81 | 283,64 | 157,93 |
| 3 | 45,60 | 877,61 | 198,84 | 92,85 |
| 4 | 41,98 | 806,26 | 177,01 | 89,53 |
| 5 | 49,67 | 949,11 | 183,48 | 107,93 |
| 6 | 45,36 | 888,65 | 110,73 | 76,74 |
| 7 | 53,21 | 1015,87 | 298,86 | 116,74 |
| 8 | 41,61 | 757,29 | 356,79 | 128,38 |
| 9 | 42,72 | 795,78 | 180,64 | 113,46 |
| 10 | 60,80 | 1182,04 | 168,22 | 112,38 |
| 11 | 48,81 | 943,59 | 109,87 | 95,24 |
| 12 | 34,69 | 615,86 | 140,19 | 122,58 |
| 13 | 46,52 | 884,48 | 193,47 | 105,68 |
| 14 | 55,97 | 1044,54 | 254,37 | 146,60 |
| 15 | 47,64 | 915,52 | 192,58 | 98,56 |
| 16 | 39,43 | 762,06 | 245,72 | 77,31 |
| 17 | 31,24 | 550,64 | 125,39 | 116,43 |
| 18 | 47,29 | 734,48 | 126,08 | 272,09 |
| 19 | 13,69 | 268,16 | 208,70 | 17,91 |
| 20 | 25,69 | 463,14 | 190,49 | 83,60 |
| 21 | 33,25 | 632,46 | 217,95 | 75,23 |
| 22 | 45,52 | 885,90 | 157,70 | 82,85 |
| 23 | 16,73 | 288,92 | 138,68 | 67,85 |
| 24 | 27,12 | 411,02 | 96,89 | 166,16 |

(continua)

Tabela A.2 - Conclusão

| N. SEGMENTO | DENSIDADE DE CULTURA (DC) (%) | ÁREA (ha) | | |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | | CLASSIFICADA CORRETAMENTE (1) | DE NÃO-TRIGO CLASSIF. COMO TRIGO (2) | DE TRIGO NÃO CLASSIF. COMO TRIGO (3) |
| 25 | 30,28 | 578,10 | 57,32 | 82,20 |
| 26 | 36,97 | 690,67 | 175,86 | 96,14 |
| 27 | 25,75 | 507,03 | 83,60 | 40,90 |
| 28 | 52,69 | 986,29 | 154,66 | 135,25 |
| 29 | 37,89 | 704,12 | 132,26 | 102,40 |
| 30 | 25,98 | 460,75 | 115,25 | 92,26 |
| 31 | 45,23 | 876,78 | 100,24 | 85,91 |
| 32 | 29,32 | 511,21 | 59,41 | 112,86 |
| 33 | 12,65 | 189,91 | 29,26 | 80,61 |
| 34 | 14,25 | 271,74 | 59,11 | 31,64 |
| 35 | 22,22 | 368,48 | 105,09 | 104,49 |
| 36 | 13,82 | 261,88 | 85,39 | 31,69 |

TABELA A.3

DADOS UTILIZADOS NO CÁLCULO DAS ÁREAS TRITÍCOLAS (FOTO AÉREA E LANDSAT)
PARA OS SEGMENTOS DE 30km².

| N.º SEGMENTO | DENSIDADE DE CULTURA (DC) (%) | ÁREA (ha) | | |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | | CLASSIFICADA CORRETAMENTE (1) | DE NÃO-TRIGO CLASSIF. COMO TRIGO (2) | DE TRIGO NÃO CLASSIF. COMO TRIGO (3) |
| 1 | 44,89 | 1218,93 | 480,40 | 214,08 |
| 2 | 44,59 | 1241,92 | 331,70 | 181,57 |
| 3 | 45,94 | 1352,54 | 177,48 | 113,86 |
| 4 | 45,48 | 1291,48 | 233,77 | 160,34 |
| 5 | 48,62 | 1356,00 | 478,90 | 196,16 |
| 6 | 43,08 | 1212,95 | 357,39 | 162,42 |
| 7 | 57,82 | 1696,84 | 228,23 | 149,10 |
| 8 | 38,39 | 1044,66 | 190,05 | 181,10 |
| 9 | 52,24 | 1490,65 | 298,56 | 177,03 |
| 10 | 47,85 | 1353,89 | 341,86 | 173,77 |
| 11 | 40,92 | 1163,38 | 311,70 | 142,99 |
| 12 | 37,39 | 883,80 | 185,49 | 322,54 |
| 13 | 17,75 | 487,64 | 289,91 | 79,12 |
| 14 | 30,50 | 876,13 | 327,23 | 97,62 |
| 15 | 37,74 | 1090,01 | 228,01 | 114,84 |
| 16 | 21,85 | 495,84 | 165,26 | 201,69 |
| 17 | 29,59 | 836,40 | 149,88 | 108,37 |
| 18 | 32,39 | 939,41 | 166,90 | 94,64 |
| 19 | 48,95 | 1370,30 | 214,07 | 192,57 |
| 20 | 28,76 | 780,86 | 188,10 | 137,34 |
| 21 | 43,50 | 1226,15 | 126,81 | 162,64 |
| 22 | 14,64 | 351,76 | 62,10 | 115,55 |
| 23 | 18,23 | 482,56 | 108,97 | 99,41 |
| 24 | 15,30 | 419,55 | 140,62 | 68,96 |

TABELA A.4

DADOS UTILIZADOS NO CÁLCULO DAS ÁREAS TRITÍCOLAS (FOTO AÉREA E LANDSAT)
PARA OS SEGMENTOS DE 40km².

| Nº SEGMENTO | DENSIDADE DE CULTURA (DC) (%) | ÁREA (ha) | | |
|----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---|--|
| | | CLASSIFICADA CORRETAMENTE (1) | DE NÃO-TRIGO CLASSIF.COMO TRIGO (2) | DE TRIGO NÃO CLASSIF. COMO TRIGO (3) |
| 1 | 48,58 | 1806,30 | 628,48 | 261,55 |
| 2 | 29,98 | 1152,64 | 402,17 | 133,18 |
| 3 | 37,84 | 1454,88 | 157,56 | 155,89 |
| 4 | 43,14 | 1550,09 | 640,43 | 286,30 |
| 5 | 40,83 | 1507,67 | 444,86 | 230,18 |
| 6 | 33,15 | 1201,88 | 235,27 | 209,00 |
| 7 | 44,15 | 1673,38 | 379,48 | 206,31 |
| 8 | 40,45 | 1547,93 | 410,53 | 173,76 |
| 9 | 19,20 | 696,94 | 112,86 | 120,51 |
| 10 | 51,45 | 1988,31 | 285,23 | 201,91 |
| 11 | 42,48 | 1647,96 | 403,42 | 160,36 |
| 12 | 33,48 | 1258,03 | 213,77 | 166,89 |
| 13 | 49,24 | 1892,70 | 293,35 | 203,17 |
| 14 | 24,04 | 839,55 | 264,07 | 183,75 |
| 15 | 30,06 | 1072,60 | 237,35 | 206,90 |
| 16 | 40,03 | 1504,52 | 250,95 | 199,29 |
| 17 | 37,20 | 1145,52 | 222,97 | 438,25 |
| 18 | 19,90 | 722,63 | 200,64 | 124,50 |

TABELA A.5

DADOS UTILIZADOS NO CÁLCULO DAS ÁREAS TRITÍCOLAS (FOTO AÉREA E LANDSAT)
PARA OS SEGMENTOS DE 60km².

| N.º SEGMENTO | DENSIDADE DE CULTURA (DC) (%) | ÁREA (ha) | | |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| | | CLASSIFICADA CORRETAMENTE (1) | DE NÃO-TRIGO CLASSIF. COMO TRIGO (2) | DE TRIGO NÃO CLASSIF. COMO TRIGO (3) |
| 1 | 46,75 | 2574,93 | 959,30 | 410,17 |
| 2 | 43,84 | 2454,87 | 689,09 | 343,91 |
| 3 | 51,88 | 3049,39 | 405,71 | 262,98 |
| 4 | 41,94 | 2336,13 | 423,82 | 341,44 |
| 5 | 34,99 | 1978,29 | 588,47 | 256,13 |
| 6 | 39,18 | 2230,02 | 699,09 | 271,35 |
| 7 | 39,33 | 2253,39 | 539,71 | 257,84 |
| 8 | 29,82 | 1379,63 | 350,75 | 524,53 |
| 9 | 36,55 | 2062,54 | 276,69 | 271,02 |
| 10 | 23,52 | 1291,17 | 229,00 | 210,79 |
| 11 | 33,59 | 1852,86 | 323,04 | 291,98 |
| 12 | 22,03 | 1200,41 | 328,72 | 206,29 |

APÊNDICE B

PROGRAMA (EM LINGUAGEM FORTRAN) UTILIZADO PARA ESTIMAR A ÁREA DE TRIGO
ATRAVÉS DO MÉTODO DE REGRESSÃO

PROGRAMA (EM LINGUAGEM FORTRAM) UTILIZADO PARA ESTIMAR A ÁREA DE TRIGO
ATRAVÉS DO MÉTODO DE ESTIMATIVA PELA REGRESSÃO

FILE 1(KIND = REMOTE)
FILE 2(KIND = REMOTE)
FILE 3(KIND = PRINTER)
FILE 5(KIND = DISK, FILETYPE=7, TITLE="AUTO .")
FILE 6(KIND = DISK, FILETYPE=7, TITLE="FOTO .")

C - OBJETIVOS DO PROGRAMA:

- C - EXTRAIR AMOSTRAS ALEATÓRIAS SIMPLES SEM REPOSIÇÃO DE UMA POPULAÇÃO
- C - FITA. UTILIZA PARA EXTRAÇÃO DAS AMOSTRAS A FUNÇÃO RANDOM.
- C - UTILIZA A ESTIMATIVA PELA REGRESSÃO, CALCULA A ÁREA TOTAL E A VA
- C - RIÂNCIA DA ESTIMATIVA PARA UMA DETERMINADA CULTURA DENTRO DE UMA
- C - ÁREA DE INTERESSE.
- C - XI - É UM NÚMERO QUALQUER PARA INICIAR A FUNÇÃO RANDOM ($i=1, n$).

C - VARIÁVEIS:

- C - NEP NÚMERO DE UNIDADES DA POPULAÇÃO
- C - IREP REPETIÇÕES ($i=1, n$)
- C - NEA NÚMERO DE ELEMENTOS DA AMOSTRA
- C - SA SOMA DAS ÁREAS CLASSIFICADAS PARA N SEGMENTOS AMOSTRAIS
- C - SF SOMA DAS ÁREAS INTERPRETADAS, VISUALMENTE DAS FOTOS PARA N
- C - SEGMENTOS AMOSTRADOS
- C - SDAF SOMATÓRIA DOS DESVIOS DAS ÁREAS INTERPRETADAS VISUALMENTE VE
- C - ZES OS DESVIOS DAS ÁREAS CLASSIFICADAS DIGITALMENTE, OBTIDAS
- C - DAS UNIDADES AMOSTRADAS.
- C - SDA2 SOMA DOS DESVIOS AO QUADRADO PARA OS DADOS DIGITAIS DAS UNI
- C - DADES AMOSTRADAS.
- C - SDF2 SOMA DOS DESVIOS AO QUADRADO PARA OS DADOS DE FOTOS AÉREAS
- C - DAS UNIDADES AMOSTRADAS.
- C - DMA2 DIFERENÇA ENTRE A MÉDIA POPULACIONAL, E AMOSTRAL, AO QUADRA
- C - DO DOS DADOS DE CLASSIFICAÇÃO DIGITAL.

C - AMEFOT MÉDIA DOS DADOS INTERPRETADOS VISUALMENTE PARA AS UNIDADES
C - AMOSTRADAS
C - AMGAUT MÉDIA DOS DADOS CLASSIFICADOS DIGITALMENTE PARA AS UNIDADA
C - DES AMOSTRADAS
C - YREG ÁREA MEIDA ESTIMADA PELA REGRESSÃO PARA AS UNIDADES AMOSTRADA
C - DAS
C - YTOT ÁREA TOTAL ESTIMADA
C - VAREST VARIÂNCIA ESTIMADA

```
DIMENSION DE(300.),DAM(100),NAL(200),IB(100),DEF(300)
WRITE(1,1000)
1000 FORMAT(1X, "QUAL O NÚMERO DE ELEMENTOS DA POPULAÇÃO ?)
READ(2,/)NEP
DO 2 I=1,300
2 DE(I)=0
DO 3 I=1,100
3 DEF(I)=0
READ(5,/)(DE(I),I=1,NEP)
READ(6,/)(DEF(I),I=1,NEP)
WRITE(1,1031)
1031 FORMAT(1X, "QUAL O NÚMERO INICIALIZADOR? XI= ")
READ(2,/)XI
WRITE(1,1011)
1011 FORMAT(1X, "QUANTAS REPETIÇÕES SERÃO FEITAS? ")
READ(2,/)IREP
WRITE(3,10001)IREP
10001 FORMAT(1X,/,1X, "NUM. DE REPETIÇÕES= ",I3)
DO 84 K=1,IREP
WRITE(1,1020)
1020 FORMAT (1X, "QUANTOS ELEMENTOS TEM POR AMOSTRA?")
READ (2,/)NEA
DO 10 J=1,NEA
A=RANDOM(XI)
IA= A* NEP+0.5
IF(IA.EQ.0)IA=1
```

```
IB(J)=IA
XI=A*1000
CONTINUE
GO TO 21
22 A=RADOM
IA= A* NEP +0,5
IF(IA.EQ.0)IA*1
IB(J)=IA
21 DO 23 J=1, NEA-1
DO 24 M=1,NEA-J
IF(IB(J)EQ.IB(M+J))GO TO 22
24 CONTINUE
23 CONTINUE
WRITE(3,10003)
10003 FORMAT(1x,"INDICES DAS AMOSTRAS",/)
WRITE(3,/)(IB(J)J=1,NEA)
SA=0
SF=0
SDAF=0
SDA2=0
SDF2=0
S=0
DMA2=0
DO 45 J=1,NEA
SA=SA+DE( IB(J))
SF=SF+DEF( IB(J))
44 CONTINUE
AMEFOT=SF/FLOAT(NEA)
AMEAUT=SA/FLOAT(NEA)
C- CÁLCULO DA MÉDIA GLOBAL DA CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA
DO 55 J=1,NEP
S=S+DE(J)
55 CONTINUE
MAGAUT=S/FLOAT(NEP)
DO 65 J=1,NEA
```

```
SDAF=SDAF+((DE(IB(J))-AMEAUT)*(DEF(IB(J))-AMEFOT))
SDA2=SDA2+((DE(IB(J))-AMEAUT)*(DE(IB(J))-AMEAUT))
SDF2=SDF2+((DEF(IB(J))-AMEFOT)*(DEF(IB(J))-AMEFOT))
65 CONTINUE
B=SDAF/SDA2
YREG=AMEFOT+B*(AMGAUT-AMEAUT)
YTOT=NEP * YREG
IF(NEA.EQ.2)GO TO 76
DMA2=(AMGAUT-AMEAUT)*(AMGAUT-AMEAUT)
R2=(SDAF * SDAF)/(SDA2 * SDF2)
VAREST=(NEP*NEP /FLOAT(NEA)*(NEP-NEA)/NEP*SDF2*(1-R2)/(NEA-2))*
*(1+1./NEA+DMA2/SDA2)
76 WRITE (3,1070)NEP,NEA,YTOT,VAREST,R2,SDF2,SDA2,DMA2
1070 FORMAT(1X,4(/),1X,"PLANO",I3,/,1X,"ELEMENTOS",I3,//,1X,"ÁREA
*ESTIMADA=",F15.3,/,1X,"VARIÂNCIA ESTIMADA= ",F15.3,/,1X,"R2=",F8.6,*
*/,1X,"SDF2=",F15.3,/,1X,"SDA2=",F15.3,/,1X,"DMA2=",F15.3)
84 CONTINUE
STOP
END
```